

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ
НАУКИ, ТЕХНИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ**

**Материалы 71-й межрегиональной
научно-технической конференции**

Том 1

Под редакцией В.М. Колокольцева

Магнитогорск
2013

Редколлегия:

В.М. Колокольцев (главный редактор),
М.В. Чукин (зам. главного редактора),
Н.А. Осинцев, К.Г. Пивоварова, М.В. Шубина, Н.Ш. Тютеряков,
А.А. Николаев, М.Г. Поликарпова, Э.П. Чернышова,
А.А. Астафьева (отв. редактор)

*Сборник входит в базу данных
Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)*

Актуальные проблемы современной науки, техники и образования:
материалы 71-й межрегиональной научно-технической конференции /
под ред. В.М. Колокольцева. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос.
техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. – Т.1. – 414 с.

В сборнике представлены доклады победителей конкурса на лучший доклад 71-й научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ 2012–2013 гг.

© Магнитогорский государственный
технический университет
им. Г.И. Носова, 2013

УДК 656.1: 519.711.3

М.Г. Осинцева, Н.А. Осинцев

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ГОРОДСКИХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

Рассмотрена возможность применения математического аппарата теории нечетких множеств для оценки безопасности пассажирских перевозок автомобильным транспортом с целью повышения качества и безопасности транспортных услуг.

В настоящее время в России отсутствует базовый федеральный закон, регламентирующий работу городского пассажирского транспорта. С вступлением в действие федеральных законов о разграничении полномочий от 06.10.2003 № 131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» и от 06.10.1999 № 184-ФЗ «Об общих принципах организации законодательных (представительных) и исполнительных органов государственной власти субъектов Российской Федерации» пригородные и междугородные пассажирские перевозки отнесены к ведению исполнительной власти субъектов Российской Федерации. Субъекты РФ самостоятельно разрабатывают нормативно-правовые акты в сфере пассажирских перевозок. В результате в регионах страны существуют различные документы, регулирующие деятельность городского (пригородного, междугородного) пассажирского транспорта [1].

Несмотря на наличие нормативно-правовой базы по регулированию деятельности городского пассажирского транспорта, проблемы повышения безопасности и качества пассажирских перевозок во многих городах остаются нерешенными. Примером может служить г. Магнитогорск, где в настоящее время отсутствует законодательный акт, регламентирующий работу коммерческого пассажирского транспорта (доля которого составляет 74%). Так, в период с 2000 по 2011 годы в городе произошло увеличение численности автобусов особо малой вместимости в 18 раз, снижение объемов перевозок муниципальным транспортом более чем в 4 раза, увеличение количества ДТП в 7 раз [1,2].

Результаты исследований, направленных на изучение работы городского пассажирского автомобильного транспорта в РФ, показывают:

- высокий удельный вес численности автобусов особо малой вместимости в общей численности городского автобусного парка, достигающий 70–85%;

- высокий удельный вес ДТП с участием автобусов особо малой вместимости в общем количестве ДТП с участием автобусов других категорий;

- низкий уровень квалификации водителей автобусов особо малой вместимости и связанные с этим невысокий уровень правосознания, отсутствие адекватного понимания причин возникновения ДТП и практического навыка безопасного управления транспортным средством;

- нарушение коммерческими организациями правил технической эксплуатации транспортных средств, а также несоответствие подвижного состава требованиям безопасности;

- нарушение коммерческими организациями норм трудового законодательства (режим труда и отдыха водителей) и транспортного законодательства (правила перевозки пассажиров, правила дорожного движения);

- негативное воздействие на окружающую среду вследствие выброса вредных веществ в атмосферу, особенно в час пик.

Эти и другие вопросы частично нашли отражение в требованиях к участникам конкурсов владельцев автобусов на право осуществления пассажирских перевозок в различных субъектах РФ [3]. В большинстве случаев участники конкурса оцениваются по бальной системе в соответствии с перечнем показателей, установленных уполномоченными органами в пределах их компетенции. При проведении конкурса организатор вправе устанавливать дополнительные требования к участникам конкурса, не противоречащие действующему законодательству РФ и местного самоуправления.

Разнообразие методов и способов оценки [4-6], отсутствие единой системы показателей оценки безопасности, а также различная природа самих показателей (одни носят качественный, другие количественный характер), создают сложности и снижают эффективность и качество оценки.

В качестве инструмента оценки авторами настоящей статьи предлагается использование математического аппарата теории нечетких множеств. В отличие от традиционных математических методов, требующих на каждом шаге моделирования точных и однозначных формулировок закономерностей, методы теории нечетких множеств позволяют на основании как точных количественных показателей, так и приближенных качественных оценок обобщать информацию о состоянии безопасности пассажирских перевозок.

Постановка задачи представляется следующим образом: пусть задано множество альтернатив $X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}$ – перевозчиков. Каждый перевозчик характеризуется множеством показателей оценки безопасности пассажирских перевозок $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n\}$.

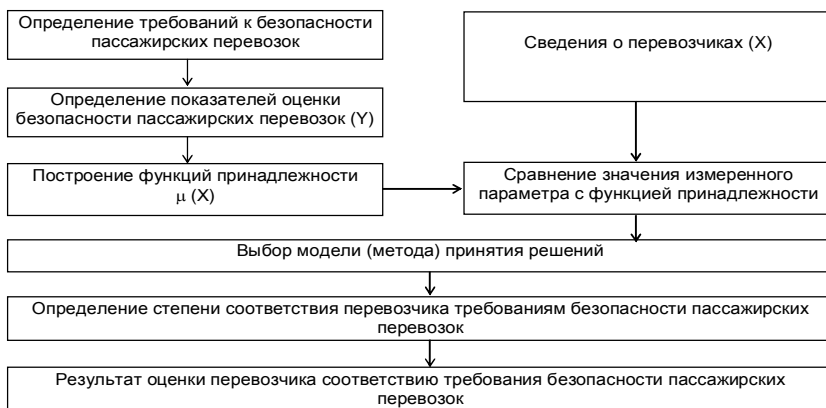


Схема оценки безопасности пассажирских перевозок

Между каждым членом множества X и каждым членом множества Y имеет место нечеткое отношение, обозначенное через μ_{ij} . Оно отражает уровень соответствия i -го перевозчика требованиям по j -му показателю оценки безопасности пассажирских перевозок ($\mu_{ij} \in [0;1]$; $i = 1, \dots, n$; $j = 1, \dots, m$).

Нечеткие отношения между x_i и y_j образуют матрицу нечетких отношений R размером nm : $R = \{\mu_{ij} | i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m\}$.

Требуется выбрать лучший вариант x^* из множества X , т.е. перевозчика, наиболее соответствующего требованиям безопасности пассажирских перевозок.

Таким образом, использование математического аппарата теории нечетких множеств позволит повысить качество оценки соответствия перевозчиков требованиям, предъявляемым к безопасности перевозок пассажиров, а также при проведении конкурсов владельцев автобусов на право осуществления пассажирских перевозок.

Список литературы

1. Осинцева М.Г., Пауль А.А., Осинцев Н.А. К вопросу о правовом регулировании городских коммерческих пассажирских перевозок // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. 2012. Т. 1. № 4. С. 95–98.
2. Методика разработки маршрутной сети движения городского пассажирского транспорта (на примере города Магнитогорска) / Корнилов С.Н., Рахмангу-

- лов А.Н., Осинцев Н.А., Цыганов А.В., Пыталева О.А. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011 №2. С. 49–58.
3. Проектные работы по обновлению маршрутной сети городского пассажирского автотранспорта г. Магнитогорска: отчет о НИР. Муниципальный контракт №1444 / ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова»; рук. Корнилов С.Н.; исполн.: Рахмангулов А.Н., Осинцев Н.А. [и др.]. Магнитогорск, 2009. 254 с.
 4. Тлегенов Б. Н. Анализ методов оценки и показателей качества системы городского пассажирского транспорта // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3. С. 100.
 5. Транспортная логистика: учебник для транспортных вузов / под общ. ред. Л.Б. Миротина. М.: Изд-во «Экзамен», 2002. 512 с.
 6. Осинцев Н.А. Управления безопасностью производства на рабочих местах с применением аппарата теории нечетких множеств // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. № 4. С. 83–85.

УДК 656.1:159.9

А.А. Пауль, Л.В. Лабунский, М.Г. Осинцева, Н.А. Осинцев

СТРУКТУРА И ВИДЫ ДОРОЖНЫХ КОНФЛИКТОВ

Рассмотрена проблема безопасности дорожного движения на автомобильном транспорте в Российской Федерации. Дано определение и классификация дорожных конфликтов с целью выявления тяжести последствий ДТП и причин нарушения правил дорожного движения участниками дорожного движения.

Безопасность дорожного движения (БДД) является важнейшей социально-экономической и демографической задачей Российской Федерации. Ежегодно в результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП) на дорогах гибнут и получают ранения свыше 270 тыс. человек.

Проблема аварийности, связанной с автомобильным транспортом, в последнее десятилетие приобрела особую остроту в связи с несоответствием дорожно-транспортной инфраструктуры потребностям общества и государства в безопасном дорожном движении, недостаточной эффективностью функционирования системы обеспечения безопасности дорожного движения и крайне низкой дисциплиной участников дорожного движения [1,2,4].

Анализ аварийности по субъектам Российской Федерации показал, что Челябинская область входит в десятку наиболее аварийных, а в г. Магнитогорске с 2000 по 2012 годы количество ДТП увеличилось в 7 раз [2]. Основными причинами такого количества дорожно-транспортных

происшествий являются [3,4]: несоответствие транспортной инфраструктуры росту автомобилизации, низкая дисциплина участников дорожного движения, отсутствие системного подхода к управлению безопасностью, значительный рост доли маршрутного транспорта.

Исследование фиксируемых нарушений правил дорожного движения (ПДД) участниками дорожного движения показывает, что соотношение нарушений между пешеходами, водителями и пассажирами транспортных средств распределены неравномерно [2,4]: на долю пешеходов приходится до 10–12% от общего количества нарушений, на долю водителей и пассажиров соответственно 85–89 и 1%. Количество смертельных случаев и причинение вреда здоровью при ДТП распределено по другому – до 40% приходится на пешеходов и 60% на водителей и пассажиров транспортных средств.

Таким образом, каждый из участников дорожного движения наделен правами, обязанностями и ответственностью, а их взаимоотношения между собой формируют определенную дорожно-транспортную среду [1], в которой происходят пересечения интересов, мотивов и потребностей каждого из участников дорожного движения и приводят к возникновению конфликтных ситуаций – дорожных конфликтов.

Предлагается под дорожным конфликтом понимать динамическое взаимодействие, осуществляемое двумя и более участниками дорожного движения на основе действительного или мнимого несовпадения интересов, ценностей или нехватки ресурсов и завершающееся победой, поражением или истощением сторон. На рисунке представлена схема возникновения дорожного конфликта, приводящая к ДТП. Наличие противоречий (несовпадения интересов) в поведении участников дорожного движения приводит к несанкционированным действиям одного или нескольких участников и нарушению ими правил дорожного движения и, как следствие, вероятности возникновения ДТП.

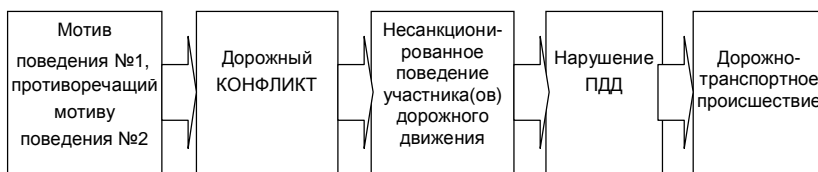


Схема возникновения дорожного конфликта

Наиболее опасными, с точки зрения количества участвующих и пострадавших в ДТП, являются межличностные и групповые дорожные конфликты (см. таблицу).

Типы и характеристика дорожных конфликтов

Тип дорожного конфликта	Разновидность дорожного конфликта	Субъекты, участвующие в конфликте	Мотивы поведения участников дорожного движения	Количество пострадавших N, чел.
Внутриличностный дорожный конфликт	-	Любой из участников дорожного движения: - водитель, - пешеход, - пассажир	Невозможность (нежелание) соблюдения ПДД в силу психологических особенностей личности	N=1
Межличностный дорожный конфликт	Конфликт «личность-личность»	Два участника: водитель-водитель, водитель-пешеход, водитель-пассажир, пешеход-пассажир, пешеход-пешеход, пассажир-пассажир	Невозможность (нежелание) соблюдения ПДД в силу социальных и психологических особенностей личности	$1 < N < 2$
	Конфликт «между несколькими личностями»	Несколько участников, каждый из которых отстаивает свои интересы: водитель-пешеход-пассажир		N>1
Групповой дорожный конфликт	Конфликт «личность-группа»	Несколько участников, когда хотя бы одна из сторон представлена малой группой: - водитель-пешеходы, - водитель-пассажиры, - пешеход-водитель, пассажир	Нарушение ПДД в силу социальных и психологических особенностей участников группы	N>1

Таким образом, методы работы по профилактике ДТП должны быть направлены не только на выявление и устранение нарушений пунктов правил дорожного движения или правил перевозки пассажиров, но и на выявление и устранение источников возникновения ДТП, т.е. мотивов, которые заставили участника дорожного движения совершить несанкционированные действия и нарушить данные правила. Работа по управлению дорожными конфликтами должна включать следующие этапы:

1. Изучение индивидуально-психологических особенностей участников дорожного движения.
2. Определение мотивов поведения участников дорожного движения в зависимости от типа дорожного конфликта.
3. Обучение участников дорожного движения способам разрешения дорожных конфликтов.

В настоящее время авторами статьи обоснован комплекс параметров для оценки индивидуально-психологических особенностей участников дорожного движения, включающий психические качества и свойства, биологические характеристики и компетенцию, а также предложены способы и методы оценки данных параметров.

Список литературы

1. Федерально-целевая программа «Повышение безопасности дорожного движения в 2006–2012 годах».
2. Осинцева А.А., Осинцев Н.А., Лабунский Л.В. Принципы транспортной психологии при управлении безопасностью дорожного движения // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. 2011. Т. 3. С. 4а–6.
3. Методика разработки маршрутной сети движения городского пассажирского транспорта (на примере г. Магнитогорска) / Корнилов С.Н., Рахмангулов А.Н., Осинцев Н.А., Цыганов А.В., Пыталева О.А. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. №2. С. 49–58.
4. Осинцева А.А., Осинцев Н.А., Лабунский Л.В. Повышение безопасности дорожного движения на основе управления дорожными конфликтами // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2012. № 2. С. 184–191.
5. Емельянов С.М. Практикум по конфликтологии. 3-е изд. СПб.: Питер, 2009. 384 с.

УДК 622.272.013

В.Н. Калмыков , О.В. Петрова, Ю.Д. Янтурина

ОБОСНОВАНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОДЗЕМНОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МАЛОЭФФЕКТИВНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Низкое содержание полезных компонентов в руде, сложные горно-геологические условия разработки, труднообогатимость руд ведут к низкой эффективности отработки рудных месторождений подземным способом. Применение коэффициента запаса финансовой прочности позволит на стадии проектирования осуществить выбор наиболее эффективных вариантов отработки малоэффективных месторождений, обеспечивающих наибольшую экономическую безопасность.

Характерным на сегодняшний день для горнодобывающей промышленности является снижение содержания полезных компонентов в руде, сложные горно-геологические условия разработки и вещественный со-

став добываемого полезного ископаемого наряду с переходом на подземный способ добычи, который характеризуется более высокой стоимостью по сравнению с открытым способом добычи. Совокупность вышеперечисленных факторов приводит к низкой эффективности отработки месторождений и, как следствие, низкому уровню запаса финансовой прочности. Применяемые на сегодняшний день технологии подземных горных работ не всегда могут обеспечить требуемый уровень запаса финансовой прочности ввиду высоких капитальных вложений, эксплуатационных затрат подземной разработки наряду с низкой извлекаемой ценностью минерального сырья.

Анализ опыта отработки месторождений, характеризующихся низким содержанием полезных компонентов в руде, сложными горно-геологическими условиями разработки и вещественным составом руд, показал, что эффективность их освоения обеспечивается высокой производственной мощностью за счет использования высокопроизводительной, крупногабаритной самоходной техники, систем разработки с массовым обрушением руды и пород, применением конвейерного подъема и т.д. Однако следует отметить, что эффективность данного подхода имеет место при разработке крупных месторождений. Так как большинство месторождений на Урале, в основном, относятся по величине запасов к средним и малым, то использование стандартных решений по интенсификации горных работ не приведет к желаемому результату. Очевидно, что интенсивность подземных горных работ при освоении малых и средних по величине запасов месторождений может обеспечить комплекс решений, направленных на увеличение скорости проходки, снижение объемов подготовительно-нарезных работ, интенсификацию закладочных работ, совмещение процессов добычи и переработки и др.* В таблице представлены резервы повышения эффективности подземной разработки месторождений.

Для обеспечения достаточного запаса финансовой прочности горно-технической системы подземной разработки в изменяющихся условиях внешней среды недостаточно использовать одно из направлений, например, снижать объемы подготовительно-нарезных работ или интенсифицировать закладочные работы. Изыскание резервов повышения эффективности освоения малоэффективных месторождений необходимо проводить по всем возможным направлениям: снижение себестоимости, интенсификация горных работ, а также увязать их с направлениями повы-

* Калмыков В.Н., Петрова О.В., Янтурина Ю.Д. Обоснование параметров подземной геотехнологии при разработке малоэффективных рудных месторождений // Комбинированная геотехнология: масштабы добычи и качество сырья при комплексном освоении месторождений: материалы междунар. науч.-техн. конференции. Магнитогорск, 2013. С. 25-27.

шения уровня организации производства, ресурсосбережения и методами управления риска.

Следует отметить, что эффективность эксплуатации малоэффективных месторождений зависит от конъюнктуры рынка и, следовательно, при отработке данных месторождений необходим некоторый запас финансовой прочности, обеспечивающий финансовую устойчивость при постоянно меняющихся условиях.

Выбор оптимального варианта разработки малоэффективных месторождений следует производить на основе коэффициента запаса финансовой прочности, который показывает на сколько может снижаться эффективность освоения запасов до того, как предприятие окажется в зоне убытков. Значение данного коэффициента не должно быть меньше 10%.

Резервы повышения эффективности отработки рудных месторождений подземным способом

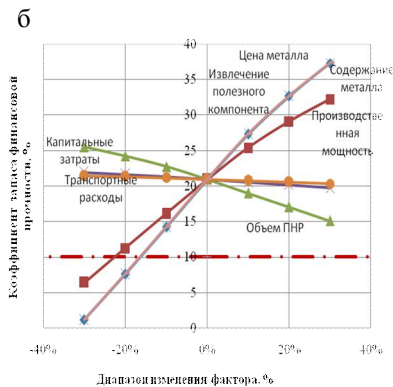
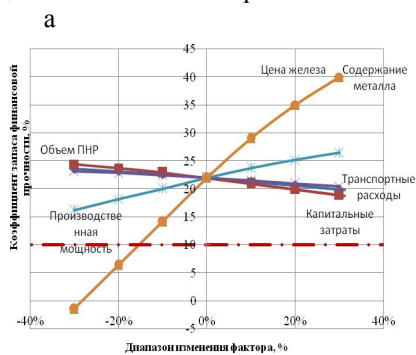
Резервы повышения эффективности	Технологические решения
Повышение производственной мощности рудника	Использование высокопроизводительных комплексов оборудования; увеличение скорости проходки выработок; применение высокопроизводительных систем разработки; увеличение производительности блоков на стадии очистной выемки; увеличение геометрических параметров систем разработки; снижение объемов ПНР; интенсификация закладочных работ; применение ярусной отработки месторождения
Увеличение объемов товарной продукции	Применение физико-химических технологий; снижение разубоживания руды
Управление рудными потоками на основе транспортно-технологических комплексов	Оптимизация транспортной схемы рудника
Совмещение процессов добычи и переработки минерального сырья	Размещение подземных обогатительных и дробильных комплексов или отдельных их элементов в подземном пространстве

Апробация методики была произведена при обосновании эффективности технологии подземной разработки месторождений железных руд «Малый Куйбас» и медно-колчеданного «Озерное». Расчеты показали, что наибольшее влияние на финансовую прочность оказывают такие факторы, как производственная мощность рудника, цена на железоруд-

ное сырье, содержание металла в руде, извлечение полезного компонента, капитальные затраты, подготовительно-нарезные работы, затраты на транспорт (см. рисунок).

На графиках видно, что наибольшее влияние на коэффициент запаса финансовой прочности оказывают цена на металл и содержание полезного компонента в руде, что свидетельствует о подверженности сильному влиянию внешних и природных факторов риска, которые по своей природе относятся к неуправляемым. При увеличении цены на металл или содержания металла в руде на 10% коэффициент запаса финансовой прочности увеличивается в 1,32 раза («Малый Куйбас») и 1,3 раза («Озерное»), а при уменьшении цены на 10% – уменьшается в 1,55 и 1,47 раз. При снижении цены на металл или содержания на 20% значение коэффициента запаса финансовой прочности оказывается ниже допустимого значения.

Следующим по влиянию на данный коэффициент является производственная мощность подземной разработки и объем подготовительно-нарезных работ. При увеличении производственной мощности и объема ПНР на 10% коэффициент запаса финансовой прочности увеличивается соответственно в 1,08 и 1,05 раз («Малый Куйбас») и в 1,3 и 1,085 раз («Озерное»), при уменьшении на 10% – соответственно в 1,095 и 1,043 раза и 1,21 и 1,1 раза. Меньшее влияние оказывают транспортные расходы и капитальные затраты.



Динамика коэффициента запаса финансовой прочности:
 а – железорудное месторождение «Малый Куйбас»;
 б – медно-колчеданное месторождение «Озерное»

Следовательно, для повышения запаса финансовой прочности предприятия необходимо одновременное увеличение производственной мощности предприятия, уменьшение капитальных затрат, объемов подгото-

вительно-нарезных работ и затрат на транспорт. Причем следует рассматривать все эти показатели в комплексе.

Таким образом, существующие технологии обработки месторождений не могут позволить вовлечь в эффективное и экономически безопасное освоение малоэффективные месторождения. Необходимы новые технологии, направленные на интенсификацию горных работ, которые будут обеспечивать требуемый уровень запаса финансовой прочности. Использование коэффициента запаса финансовой прочности позволит на стадии проектирования осуществить выбор наиболее эффективных вариантов обработки малоэффективных месторождений, обеспечивающих наибольшую экономическую безопасность и соответственно наименьший риск их обработки.

УДК 656.08

К.К. Несват, М.Г. Осинцева

АНАЛИЗ ПРИЧИН И ПОСЛЕДСТВИЙ ДТП НА ФЕДЕРАЛЬНЫХ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ДОРОГАХ РФ

В статье рассмотрена проблема аварийности на федеральных и региональных дорогах РФ, выполнен анализ причин возникновения и последствий дорожно-транспортных происшествий с участием автомобильного транспорта.

Дорожно-транспортный травматизм в России приобрел в настоящее время масштаб и характер национальной катастрофы. Смертность от ДТП составляет 14 человек на 100 пострадавших в ДТП, что в 5–7 раз больше, чем в развитых странах (Японии, Великобритании, США, Германии, Италии и пр.). Основные причины ДТП связаны с несоответствием дорожно-транспортной инфраструктуры потребностям общества и государства в безопасном дорожном движении, недостаточной эффективностью функционирования системы обеспечения безопасности дорожного движения и крайне низкой дисциплиной участников дорожного движения. Ежегодно на дорогах РФ погибает более 25 тыс. человек [1,2].

Анализ [2,3] показывает, что до 70% ДТП совершается в городах и населенных пунктах, а до 30% приходится на региональные и федеральные дороги. Основными отличиями ДТП в городском и междугородном (пригородном) сообщениях являются: различие в максимально разрешенной скорости дорожного движения, видах ДТП и причинах их возникновения, тяжести последствий, а также организации и технологии выполнения работ по ликвидации последствий ДТП – оказание первой медицинской помощи и спасательных работ.

В РФ одним из основных направлений повышения безопасности дорожного движения является реализация Федеральных целевых программ (ФЦП). До настоящего времени были выполнены две Федеральные целевые программы «Модернизация транспортной системы России (2002–2010 годы)» и «Повышение безопасности дорожного движения в 2006–2012 годах». Однако индикаторы и цели, поставленные в программах, не были достигнуты полностью.

В настоящее время Правительство РФ утвердило Федеральную целевую программу «Повышение безопасности дорожного движения в 2013–2020 годах» [4]. В ее рамках к 2020 году планируется снизить смертность на дорогах на 25% по сравнению с показателями 2010 года (с 26,5 тысячи до 20 тысяч человек в год соответственно). Основными задачами новой программы будут снижение количества ДТП, в которых гибнет наибольшее количество людей, уменьшение общего травматизма в авариях, а также развитие системы оказания помощи пострадавшим в ДТП. В правительстве также планируют повысить эффективность систем обеспечения безопасности на дорогах и увеличить ответственность и правосознание участников движения.

Целью настоящей работы являлось определение причин возникновения и последствий ДТП на федеральных и региональных дорогах Российской Федерации за 2012 год. Актуальность данного исследования обусловлена недостатком данных из официальных источников.

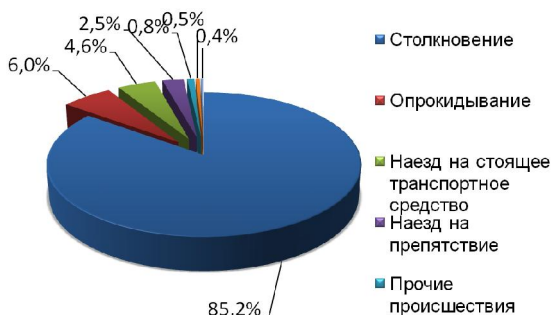
В качестве параметров оценки были выбраны следующие параметры и показатели:

- дата совершения ДТП;
- субъект РФ, где произошло ДТП;
- место совершения ДТП (дорога, трасса);
- число полос движения;
- число пострадавших и погибших в ДТП, в том числе и детей;
- вид ДТП;
- причины ДТП;
- марка и модель транспортных средств, участвующих в ДТП;
- количество отечественных или импортных транспортных средств, участвующих в ДТП;
- количество легковых, грузовых, автобусов и спецтехники, участвующих в ДТП.

Объем выборки составил 874 ДТП. По результатам анализа можно сделать следующие выводы: наиболее аварийными регионами являются Краснодарский и Пермский края, Свердловская, Оренбургская и Тверская области.

Основными видом ДТП на федеральных и региональных трассах является столкновение транспортных средств (см. рисунок), на долю которого приходится более 80% всех случаев. Главными причинами являются

«превышение установленной скорости движения» (47,1%) и «нарушение правил обгона» (26,6%).



Распределение ДТП по видам

Около 90% ДТП совершаются на дорогах с двухполосным движением. Автомобили импортного производства (зарубежных фирм) попадают в ДТП чаще, чем отечественные марки (53 и 47% соответственно). Распределение ДТП по видам транспортных средств составляет 66% – легковые, 28% – грузовые, 5% – автобусы и 1% прочие.

Таким образом, основными направлениями повышения безопасности на федеральных и региональных дорогах должны являться:

1. Проведения планомерной профилактической работы среди всех участников дорожного движения.

2. Сокращение времени прибытия соответствующих служб на место дорожно-транспортного происшествия, повышение эффективности их деятельности по оказанию помощи лицам, пострадавшим в результате дорожно-транспортных происшествий;

3. Строительство новых и реконструкция существующих автомобильных дорог под магистрали со скоростным движением, а также строительство транспортных развязок в разных уровнях на наиболее загруженных перекрестках, увеличение числа полос движения на дорогах.

4. Улучшение эксплуатационных качеств дорог: прочности дорожной конструкции, ровности, шероховатости и износостойкости дорожного покрытия; усиления контроля работы дорожных служб, отвечающих за состояние дорог.

5. Повышение уровня безопасности транспортных средств.

Реализация решений 2–5 связана со значительными инвестиционными затратами на разработку, проектирование и внедрение мероприятий [5]. Поэтому в условиях недостатка финансовых ресурсов для предупреждения и снижения числа ДТП первоочередными должны стать мероприятия по проведению профилактической работы с участниками дорожного движения.

Список литературы

1. Сведения о показателях состояния безопасности дорожного движения // Официальный сайт ГИБДД МВД России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gibdd.ru/info/stat/>
2. Федеральная целевая программа «Повышение безопасности дорожного движения в 2006-2012 годах» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fcp-pbdd.ru>
3. Проектные работы по обновлению маршрутной сети городского пассажирского автотранспорта г. Магнитогорска: отчет о НИР. Муниципальный контракт №1444 / ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова»; рук. Корнилов С.Н.; исполн.: Рахмангулов А.Н., Осинцев Н.А. [и др.]. Магнитогорск, 2009. 254 с.
4. Федеральная целевая программа «Повышение безопасности дорожного движения в 2013–2020 годах» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://auto.amic.ru>
5. Осинцева А.А., Осинцев Н.А., Лабунский Л.В. Принципы транспортной психологии при управлении безопасностью дорожного движения // Сборник научных трудов S world по материалам международной научно-практической конференции. 2011. Т. 3. № 4. С. 4а–6.

УДК 622.272:622.343.5

А.Б. Аллабердин, А.М. Мажитов

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КАМЕРНО-ЦЕЛИКОВОГО ПОРЯДКА ОТРАБОТКИ РУДНЫХ ТЕЛ ЗАЛЕЖИ №6 ЮБИЛЕЙНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Приводится сравнительный геомеханический анализ применения сплошного и камерно-целикового порядков отработки залежи с помощью математического моделирования методом конечных элементов.

Закладка твердеющей смесью выработанного пространства является наиболее эффективной по сравнению с другими вариантами управления горным давлением, но применения закладочных работ в ряде случаев составляют до 60% от общих затрат на добычу руды, что связано с высокой стоимостью твердеющей закладки.

Согласно технологическому регламенту «По отработке Юбилейного месторождения подземным способом» рудное тело по простиранию разделено на блоки длиной 300 м, которые включают определенное количество камер и межблоковый рудный целик размером по простиранию, равным 60 м.

Параметры блока по простиранию рудной залежи представлены и направление отработки запасов в блоке приведены на рис. 1.



Рис. 1. Направление отработки запасов блока

После отработки камеры в погрузочных заездах, секционном штреке и буровом орту устанавливаются перемычки и в выработанное пространство подается твердеющая смесь. Состав смеси должен обеспечить прочность несущего слоя 10 м не ниже 5 МПа и прочность верхнего пригрузочного слоя высотой 30 м – 3 МПа. Параметры камеры приняты по аналогии с Гайским, Узельгинским, Ново-Учалинским и другими медноколчеданными месторождениями [1].

Для снижения затрат на твердеющую закладку при отработке рудных тел залежи №6 подэтажно-камерной системой разработки предлагается изменить порядок отработки со сплошного на камерно-целикосый с закладкой камер второй очереди пустой породой [2].

В связи с этим, нами был произведен расчет ширины камер при отработке залежи №6 по рекомендованной эмпирической формуле

$$\ell_k = 4,3d_2 \times [\delta_{сж} / K \times d_1 \times \gamma]^{1/3}, \quad (1)$$

где d_1 и d_2 – размеры элементарных расклинившихся породных блоков (горизонтальный и вертикальный) $d_1 = d_2 = (0,2-0,5)$ м; $\sigma_{сж}^{BC}$ и $\sigma_{сж}^{BH}$ – предел прочности породы на сжатие в образце, в воздушно-сухом и влагонасыщенном состояниях (550, 350 кг/см² соответственно); γ – объемная плотность пород (2,7 т/м³); K – коэффициент запаса (при предельном пролете принимается равным 1, при допустимом – 2,5) [3].

Результаты расчетов предельного пролета обнажения пород всячего бока по формуле (1) приведены в таблице.

Предельные пролеты обнажения пород всячего бока

Размер элементарного блока структурного, м	Предельный пролет обнажения пород всячего бока (ширина камер) ℓ_k , м, при $\sigma_{сж}$, кг/см ²	
	350	550
$d_1=d_2=0,2$	7,4	8,6
$d_1=d_2=0,3$	9,8	11,3
$d_1=d_2=0,4$	11,8	13,7
$d_1=d_2=0,5$	13,7	15,9

Как следует из таблицы, предельные пролеты обнажения пород всячего бока изменяются от 7,4 до 15,9 м, в зависимости от состава пород, размеров структурных блоков и физико-механических свойств пород.

По результатам расчетов ширину камер первой очереди рекомендуется принять равной 7,5 м, а второй – 15 м, что соответствует устойчивому состоянию камер.

Для оценки геомеханического состояния массива пород и несущей способности монолитных целиков при освоении залежи №6 Юбилейного месторождения предлагаемым вариантом были разработаны математические модели в программном комплексе ФЕМ (ИГД УрО РАН) методом конечных элементов в упругой среде (рис. 2).

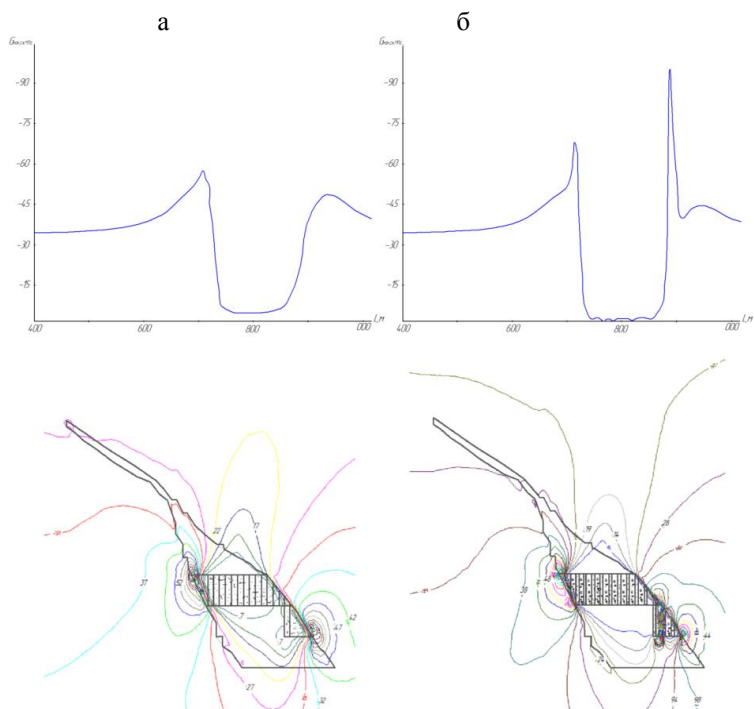


Рис. 2. Изолинии максимальных сжимающих напряжений:
 а – при отработке запасов этажа в сплошном порядке;
 б – с разделением запасов этажа на камеры 1 и 2 очереди

Значения напряжений при применении системы с полной закладкой выработанного пространства значительно ниже, чем при системе с разделением камер на 1 и 2 очередь, но напряжения в обоих случаях являются сжимающими и не превышают предела прочности пород.

В результате проведения геомеханических исследований напряженно-деформированного состояния массива было установлено, что приме-

нение предложенного порядка отработки запасов этажа, с разделением на камеры 1 и 2 очереди и рассчитанными параметрами, обеспечит безопасность горных работ. С экономической точки зрения данная технология позволит снизить затраты на твердеющую закладку. При этом исключаются затраты на транспортирование и размещение на земной поверхности пустой породы от проходки.

Список литературы

1. Технологический регламент по отработке месторождения Юбилейное подземным способом / ЗАО «Горный проектно-строительный центр». Екатеринбург, 2007.
2. Аллабердин А.Б. Применяемые системы разработки при добыче руд залежи №6 Юбилейного месторождения // Комплексное освоение месторождений полезных ископаемых: сб. науч. трудов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 130–133.
3. Аллабердин А.Б., Мещеряков Э.Ю., Гусева Е.Е. Восходящий порядок подземной разработки месторождений. Достоинства и недостатки // Комплексное освоение месторождений полезных ископаемых: сб. науч. трудов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 126–129.

УДК 621.221

А.Д. Кольга, Н.А. Томилов, С.В. Подболотов

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ КОНСТРУКЦИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

В данной статье рассмотрена возможность создания энергосберегающей конструкции центробежного насоса. Представлено конструктивное исполнение и описание принципа работы предлагаемого центробежного насоса. Приведены результаты экспериментов и на их основе построены напорно-расходные характеристики.

Центробежные насосы являются одной из самых распространенных разновидностей динамических гидравлических машин. Они широко применяются: в системах водоснабжения, водоотведения, в теплоэнергетике, в химической промышленности, в атомной промышленности, в авиационной и ракетной технике и др. На привод центробежных насосов затрачивается колоссальное количество энергии, составляющее около 20% всей электроэнергии, вырабатываемой в стране. Мощность промышленных насосов лежит в пределах от единиц до нескольких тысяч киловатт.

Центробежные насосы выгодно отличаются от других типов насосов простотой конструкции малой стоимостью и надежностью в работе.

В процессе работы насосов часто требуется регулирование таких его параметров, как расход и напор.

В настоящее время существует несколько способов регулирования насосов:

а) Изменение открытия напорной задвижки. Этот способ является наиболее простым и поэтому наиболее распространенным, однако экономически несовершенным, так как связан со значительным понижением КПД установки.

б) Изменение открытия всасывающей задвижки. По сравнению с предыдущим оказывается несколько выгоднее, но применение такого регулирования возможно только в насосах, работающих с подпором на всасывании, так как, вводя дополнительные сопротивления на всасывающей линии, тем самым увеличиваем разряжение на входе и, следовательно, увеличивается возможность возникновения кавитации.

в) Регулирование параметров путем изменения частоты вращения рабочего колеса насоса. Этот метод является наиболее экономически выгодным. Однако он и наиболее сложный и дорогостоящий, поскольку требуется установка специального регулируемого привода, что, естественно, требует значительных экономических затрат.

г) Обточка рабочего колеса. Параметры обточки следует назначать в соответствии с требованиями технических условий на применяемый насос. Обточка рабочего колеса не должна превышать: для n_s от 60 до 120 – 20–15% от первоначального диаметра, для n_s от 120 до 200 – 15–10%, для n_s от 200 до 300 – 10–5%. Этот способ достаточно простой, но не способен плавно изменять параметры насосной установки непосредственно в процессе работы.

Учитывая большую энергоемкость, очевидно, что эффективное регулирование параметров насосных установок позволит сэкономить значительное количество электроэнергии.

Одним из путей решения проблемы эффективного регулирования параметров насосных установок может стать использование центробежных насосов с дополнительным кольцом с лопастями соосно установленным рабочему колесу с возможностью регулирования его частоты вращения*.

Конструкция предлагаемого насоса представлена на рис. 1, элементы конструкции (рабочее колесо и кольцо) – на рис. 2.

* Пат. 77917 РФ.



Рис. 1. Конструкция предлагаемого насоса



Рис. 2. Элементы конструкции
(а – кольцо; б – колесо; в – кольцо и колесо в сборе)

Принцип работы насоса заключается в следующем.

При вращении рабочего колеса 1, совместно с кольцом 2, жидкость под действием центробежных сил перемещается от входного отверстия рабочего колеса и поступает на лопасти соосно расположенного кольца 2. Поскольку кольцо 2 вращается как одно целое с рабочим колесом, то напор насоса достигает максимума (рис. 3, *а*), определяемого диаметром совместно вращающихся колеса с кольцом.

Если затормозить кольцо, то напор насоса составит минимальное значение, определяемое только диаметром рабочего колеса (рис. 3, *б*).

Если подтормаживать внешнее кольцо 2, то в зависимости от частоты вращения напор колеса будет принимать промежуточное значение от минимального при полностью заторможенном кольце до максимального при полностью расторможенном кольце.

Проведенные опыты показали, что кроме размеров и величины подтормаживания кольца на величину напора и расхода оказывает влияние и соотношение направления лопастей на рабочем колесе и кольце.

Таким образом, используя возможности подтормаживания кольца, а также изменяя соотношение направления лопастей рабочего колеса и кольца, становится возможным регулировать напор в достаточно широ-

ких пределах. Для конкретного насоса типа 1ХМ-2-2в при диаметре колеса, равном 107 мм, и диаметре кольца, равном 128 мм, изменение величины напора составило от 18 до 12,8 м вод.ст., при этом расход (подача) снижается от $3,5 \cdot 10^{-3}$ до $2,5 \cdot 10^{-3}$ м³/с, без существенных изменений мощностной характеристики, а следовательно, потребляемой мощности.

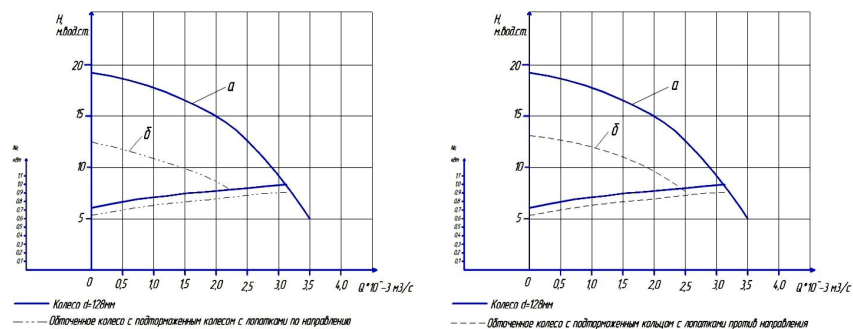


Рис. 3. Расходно-напорные характеристики

УДК 553.435

Е.А. Горбатова, О.С. Колесатова, С.О. Каргунова, М.Ф. Тулубаева

АНАЛИЗ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ПОДОТВАЛЬНОЕ»

Проведен анализ геологических особенностей месторождения «Подотвальное». Были выявлены, по степени устойчивости, комплексы пород: устойчивые, относительно устойчивые и неустойчивые породы.

Месторождение «Подотвальное» расположено в пределах города Магнитогорска в 1,5 км к северо-востоку от Дальнего карьера горы Магнитной в узком тектоническом блоке, ограниченном Центральным разломом горы Магнитной на западе и сбросом горы Маяк на востоке. Месторождение находится в пределах существующего земельного отвода Магнитогорского рудника горно-обогатительного производства ОАО «ММК».

В орографическом отношении район месторождения представляет собой Зауральскую равнину. Выделяются невысокие гряды, увалы и юры с относительными превышениями до 275 м, при абсолютных отметках до 614,3 м (гора Магнитная).

Геологическое строение района определяется восточной частью Магнитогорского мегасинклиория, где расположено Магнитогорское рудное поле с месторождениями и проявлениями скарново-магнетитовых руд контактово-метасоматического типа. Благоприятным для образования залежей считаются интрузии с крутопадающими контактами, имеющими секущее положение к слоистости вмещающих пород. Главное значение в размещении железорудной минерализации имеют интрузивные образования магнитогорской серии, комагматичные её вулканогенным комплексам. Важную роль в формировании и размещении месторождений Магнитогорского рудного поля придают долгоживущим тектоническим нарушениям северо-западного и северо-восточного направления доинтрузивного заложения.

Месторождение расположено в узком тектоническом блоке, на контакте габбро-гранитной интрузии с вулканогенными образованиями. Ширина блока 700–1000 м, протяженность в меридиональном направлении 2200 м. На юге блок ограничен северным окончанием восточного карьера Магнитогорского железорудного месторождения, на севере он протягивается до Куйбасовского гранитного массива.

В районе месторождения выделяются грунтовые воды аллювиальных и делювиальных отложений, а также трещинные воды скальных пород.

Геологический разрез района месторождения Подотвальное представлен породами Палеозойской группы систем девонской, каменноугольной и пермской.

Девонская система представлена живетским и эйфельским ярусами, а также фаменским и франским.

Средняя толща живетского яруса (D_2gv^{a-b}) представлена переслаиванием сланцев, алевролитов, песчаников с туфами базальтовых порфиритов, кремнистых сланцев с алевролитами, песчаниками, осадочными брекчиями с прослоями известняков мощность от 0–500 м. Известняками рифогенными, пироксеновыми и пироксен-плагиоклазовыми. Базальтовыми, андезит-базальтовыми порфиритами и их туфами мощность от 0–300 м.

Средняя толща эйфельского яруса (D_2e_{1-2}) слагается в основном порфирами липарито-дацитового, липоритового состава и их туфами мощностью от 0–500 м. Миндалекаменными базальтовыми афиритами и спиритами, базальтовыми порфиритами с редкими прослоями кремнистых сланцев мощность более 1000 м.

Верхняя толща фаменского яруса (D_3fm) слагается туфами андезитовых и базальтовых порфиритов, прослои андезитовых порфиритов, туфами и туффитами с мощностью 200–250 м.

Верхняя толща франского яруса (D_3fr) слагается пироксен-плагиоклазовыми и плагиоклазовыми андезито-базальтовыми и андези-

товыми порфиритами, их туфы, участками с обломками известняка с мощностью от 1000–1200 м.

Средняя толща Каменноугольной системы представлена Московским ярусом (C_2m), который преобладает в основном конгломератами известняков и обломочными известняками мощностью от 0–500 м.

Каменноугольная система представлена Намюрским, Визейским и Турнейским ярусами.

Нижняя толща Намюрского яруса (C_1V_3n) представлена известняками афанитовыми серыми и кремовыми с мощностью от 250–350 м.

Нижняя толща Турнейского яруса ($D_3fm-C_{1t_1}$) (подъярус нижнетурнейский) представлена известняками, нередко обломочными и брекчиевидными, изредка мраморы и мраморизованными известняками с мощностью 100–150 м.

Нижняя толща Визейского яруса представлена подъярусом верхневизейским (C_1V_3), который представлен доломитами, доломитизированными известняками с мощностью от 200–500 м; известняками, нередко мелкообломочными и песчаными с мощностью от 200–300 м; известняками детритовыми серыми и темно-серыми с мощностью от 400–500 м; палеобазальтами и палеоандезитами, реже их туфы и прослои известняков с мощностью от 0–400 м.

Нижняя толща Визейского яруса также представлена подъярусом средневизейским (C_1V_{2-3}), который, в свою очередь, представлен андезито-базальтовыми, базальтовыми, андезитовыми порфиритами и микропорфиритами, реже диабазы и диабазовые порфириты, палеобазальты, туфы и туффиты основного состава местами трахилипаритовые и липаритовые порфиры и их туфы изредка прослои туфоконгломератов и известняков с мощностью от 300–1400 м. Туфоконгломератами и туфопесчаниками, вулканомиктовые песчаники, алевролиты и туфориты с прослоями известняков и органогенных песчаников. Местами липаритовые, липарито-дацитовые трахитовые и андезито-трахитовые порфиры, изредка андезито базальтовыми и базальтовыми микропорфириты, диабазы и диабазовые порфириты с мощностью от 20–600 м.

А также нижняя толща Визейского яруса слагается подъярусом нижневизейским (C_1V_1). Он представлен конгломератами, туфопесчаниками, липаритовыми и липарито-дацитовыми порфирами, вулканомиктовые песчаники и алевролиты с прослоями известняковых песчаников с мощностью от 300–1100 м. Туфы кислого состава, липаритовые порфиры и их туфы, туфопесчаники и туфоалевролиты, вулканомиктовые песчаники и спонголиты, изредка андезитобазальтовыми и андезитовыми порфириты и микропорфириты, частые прослои известняков, мраморы и мраморизованные известняки, известняки с прослоями песчаников и алевролитов с мощностью от 1600–700 м.

Нижняя и верхняя толща Пермской системы (C_3-P_1) приурочена песчаниками, конгломератами, алевролитами и аргиллитами с пылью кордаитов; изредка гипсы и обломочные известняки с переотложенными ферраминиферами, характерными для нижнего и среднего карбона с мощностью от 300 - 500 м.

Приуроченность месторождения к северному экзоконтакту гранитного массива предопределяет залегание рудных тел. Рудноскарновая зона сложена в различной степени метаморфизованными породами, обрамляет массив и имеет в плане дугообразную форму, меняя северо-восточное простирание центральной части месторождения на широтное на северо-восточном фланге. Рудные тела в виде небольших пластообразных и линзовидных залежей залегают среди метасомативов и, реже, скарнов, образованных по туфам и вулканогенно-осадочным породам. Мощность рудных тел варьирует от 2 до 30 м с постепенным выклиниванием как по падению, так и по простиранию.

На месторождении по расположению рудных тел выделено три участка: центральный блок, северо-восточный фланг и южный фланг. Рудные тела, относимые к центральному блоку месторождения, приурочены к северо-западному экзоконтакту плагиигранитного массива, имеют северо-восточное простирание, с глубиной переходящее в широтное.

Рудные тела представляют собой небольшие пластово-линзовидные залежи, субогласные с простиранием и падением вмещающих пород и погружением плагиигранитного массива. Преобладают северо-западное и северное падение. Мощность рудных тел варьирует от 2 до 30 м. Они часто выклиниваются как по падению, так и по простиранию, постепенно переходя в безрудные метасоматиты. Центральная приповерхностная часть рудных тел обычно сложена богатыми рудами, которые к периферии переходят в бедные вкрапленные. Относительно однородными богатыми рудами сложена только окисленная часть рудных тел центральной части месторождения. Возраст рудовмещающей толщи определен как верхнедевонский, и она перекрывается, за пределами месторождения, более молодыми по возрасту трахиандезитами, их кластолавами и туфами, реже андезитами и трахитами.

В центральном блоке месторождения выделено семь тел магнетитовых руд, из которых четыре приурочены к верхней рудно-скарновой зоне. Самыми крупными являются рудные тела I-2 и I-3, расположенные в одной метасоматической зоне. Рудное тело I-2 включает 35% разведанных запасов. Мощность его колеблется от 1,6 до 25,0 м. Под покровными отложениями имеет форму линзы длиной 100 м. По падению рудное тело прослежено до глубины 336 м, где его простирание увеличивается до 400 м. Углы падения 30-35° у поверхности и 50-60° на глубине. Рудное тело I-3 пространственно залегает под рудным телом I-2, отделено от него прослоем бедных вмещающих пород. Условия залегания аналогичные.

Прослежено до глубины 360 м и по простиранию на 350 м. Мощность тела невыдержанная и меняется от 2 до 48 м. Рудное тело I-4 расположено ниже рудного тела I-3, отделено от него безрудными скарнами и метасоматитами. По падению прослежено на 200 м. Рудное тело сложено богатыми рудами мощностью от 4 до 20 м и включает 4% разведанных запасов.

Рудные тела северо-восточного фланга располагаются в метасоматической зоне широтного простирания. Зона непосредственно примыкает к кварц-полевошпатовым роговикам и гранитам. Рудные тела III-1 и III-2 вскрыты скважинами, определены их *качественные параметры* и они имеют промышленную ценность.

На южном фланге месторождения в контакте плагиогранитного массива, круто погружающегося на юг, установлена зона метасоматитов и скарнов, которая включает маломощные скопления вкрапленной минерализации (IY-1, IY-2, IY-4). Содержание железа в них ниже требований кондиций.

Промышленная ценность месторождения определяется центральным блоком месторождения, в котором сосредоточено 72% разведанных запасов железных руд, и северо-восточным флангом с 25% разведанных запасов.

На месторождении выделяются три инженерно-геологических комплекса пород:

- техногенные отложения;
- рыхлые покровные отложения и образования коры выветривания;
- скальные породы.

Техногенные отложения представлены отвалами вскрышных пород Подотвального месторождения. В составе отвалов, без системного распределения, щебень и глыбы гранитов, роговиков, порфиритов, известняков и руд и глинистые и глинисто-песчаные отложения и образования верхних горизонтов вскрыши. Мощность их 35–40 м, на юге месторождения до 10 м. Рыхлые отложения представлены пролювиально-делювиальными глинами кустанайской свиты верхнего неогена мощностью 10–25 м и светлинской свиты нижнего неогена мощностью до 20 м, а также глинистыми и щебнистыми образованиями коры выветривания вмещающих пород и руд месторождения мощностью 10–40 м. Скальные породы представлены диабазами, диабазовыми порфиритами, гранитами, роговиками и метасоматитами, вмещающими рудные тела и минерализованные зоны, с глубиной изучения по керну скважин до 500 м.

По степени устойчивости на месторождении выделяются устойчивые, относительно устойчивые и неустойчивые комплексы пород.

К неустойчивым породам относятся рыхлые покровные отложения и образования коры выветривания верхней части месторождения и перекрывающие их техногенные постройки (отвалы вскрышных пород). Данная группа пород имеет площадное распространение на месторождении

общей мощностью до 60 м. К относительно устойчивым породам относятся трещиноватые и измененные вмещающие породы (метасоматиты и кварц-полевошпатовые роговики), для которых характерна микротрещиноватость. В эту же группу отнесены породы, приуроченные к зонам тектонических разломов.

В процессе разработки месторождения наблюдаются оползневые явления и вспучивание глинистых грунтов. При влажности рыхлых отложений 14–16% коэффициенты запаса устойчивости более двух. С увеличением влажности до 23–25%, коэффициент запаса устойчивости снижается до 1,6–1,7. На участках производилась отсыпка шлаками с целью предотвращения развития оползневых процессов.

УДК 512.54+515.16

А.Л. Анисимов

АВТОМАТНОСТЬ МОНОИДА ОБОБЩЕННЫХ КОС

Доказывается автоматность моноида частичных кос, т.е. кос с удаленными одной или несколькими нитями. Для этого строится конечный автомат, решающий данную проблему.

Изучение групп кос началось с работы Артина [1]. В дальнейшем многими математиками вводились различные обобщения таких групп [2].

Одним из таких обобщений является понятие моноида частичных кос IB_n . Следующее представление было получено в работе [3]. Образующие $t_i, t_i^{-1}, i = 1, \dots, n - 1, \varepsilon$; соотношения:

$$\begin{cases} t_i t_{i-1}^{-1} - t_{i-1}^{-1} t_i - 1 \text{ для всех } i, \\ \varepsilon t_i - t_i \varepsilon \text{ для } i > 2, \\ \varepsilon t_i \varepsilon - t_i \varepsilon t_i \varepsilon - \varepsilon t_i \varepsilon t_i, \\ \varepsilon = \varepsilon^2 = \varepsilon t_i^2 = t_i^2 \varepsilon, \\ t_i t_j = t_j t_i \text{ если } |i - j| > 1, \\ t_i t_{i+1} t_i = t_{i+1} t_i t_{i+1} \end{cases} \quad (1)$$

Два последних соотношения – это соотношения для классической группы кос Br_n . Далее, в работе [4] было доказано, что моноид IB_n может быть представлен в виде несвязного объединения копий групп кос Br_k :

$$IB_n = \coprod_{I_k, J_k \subset \{1, \dots, n\}} Br(I_k, J_k). \quad (2)$$

Здесь $I_k = \{i_1, i_2, \dots, i_k\}, i_1 < i_2 < \dots < i_k, J_k = \{j_1, j_2, \dots, j_k\}, j_1 < j_2 < \dots < j_k$ и $B_r(I_k, J_k)$ – соответствующая группа кос. Кроме всего, нам потребуется моноид частичных перестановок I_n , множество образующих которого такое же, как и у IB_n , а соотношения отличаются только первым из формул в (1), которое заменяется на соотношение $\tau_i^2 = 1$ для всех i .

Существует каноническая проекция $p_n: IB_n \rightarrow I_n$, которая имеет единственное обратное справа сечение $r: I_n \rightarrow IB_n$, такое, что $r(\tau_i) = \tau_i$ и $r(xy) = r(x)r(y)$ когда $|xy| = |x| + |y|$. Образ $r(I_n)$ называется положительными частичными перестановочными косами и обозначается IB_n^+ . В работе [4] доказано, что если частичные косы $b_1, b_2 \in IB_n^+$ индуцируют одинаковую частичную перестановку на своих нитях, тогда $b_1 = b_2$, для каждого $s \in I_n$ существует частичная коса $b \in IB_n^+$, которая индуцирует эту частичную перестановку $\tau_n(b) = s$.

Напомним теперь понятие автоматного моноида. Пусть M моноид. Под M -автоматом понимается структура $A = (Z, \delta, i, F)$, где Z – это конечное множество состояний, $\delta \subset Z \times M \times Z$ – конечное отношение перехода с условием $(z, 1, z') \in \delta$, тогда и только тогда, когда $z = z'$, $i \in Z$ начальное состояние, $F \subset Z$ множество финальных состояний. Конечный M -автомат можно изобразить в виде графа, ребра которого помечены элементами моноида M . Движением называется конечная последовательность $(z_i, m_i, z_{i+1})_{(1 \leq i \leq n)}$ переходов; его меткой является элемент $m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n$ из M . Движение допустимо, если $z_1 = i$ и $z_n \in F$. Множество $L(A)$ распознается автоматом A , если оно составлено из всех меток допустимых движений. Подмножество $X \subset M$ называется рациональным, если существует M -автомат A с $X = L(A)$, т.е. если это множество распознается некоторым M -автоматом. Пусть X – конечное множество. Тогда $X^* = \{x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n | x_i \in X\}$.

Если $M = \Gamma^* \times \Delta^*$ – прямое произведение свободных конечно порожденных моноидов, то M -автоматы называют преобразователями, а рациональные подмножества из M называют рациональными отношениями и обозначают $R(A)$. Пусть символ $\$ \notin \Gamma$. Обозначим

$$\Gamma(2, \$) = ((\Gamma \cup \{\$\}) \times (\Gamma \cup \{\$\})) \setminus \{(\$, \$)\}$$

Определим отображение $\otimes: \Gamma^* \times \Gamma^* \rightarrow \Gamma(2, \$)^*$ формулами
 $\varepsilon \otimes \varepsilon = \varepsilon \quad a \otimes \varepsilon = (a, \$) \quad \varepsilon \otimes b = (\$, b) \quad av \otimes bw = (a, b)v \otimes w$
 для $a, b \in \Gamma$ и $v, w \in \Gamma^*$.

Если $R \subseteq \Gamma^* \times \Gamma^*$, тогда

$$R^{\otimes} = \{v \otimes w | (v, w) \in R\}.$$

Пусть M – моноид, Γ – конечное множество, $\theta: \Gamma^* \rightarrow M$ эпиморфизм, и $L \subseteq \Gamma^*$.

$$\text{Определим} \quad \begin{aligned} L(\varepsilon) &= \{(u, v) \in L \times L | \theta(u) = \theta(v)\}; & L_{\varepsilon} &= L(\varepsilon)^*; \\ L(a) &= \{(u, v) \in L \times L | \theta(ua) = \theta(v)\}; & L_a &= L(a)^*; \end{aligned}$$

для $\alpha \in L$. Автоматная структура для моноида M задается тройкой (Γ, θ, L) , где

1) Γ конечное множество, $\theta: \Gamma^* \rightarrow M$ эпиморфизм и $L \subseteq \Gamma^*$ регулярно;

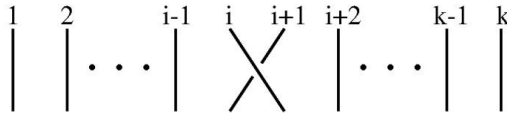
2) $\theta(L) = M$;

3) L_α и $L_{\alpha^{-1}}$ регулярны для всех $\alpha \in \Gamma^*$.

Моноид называется автоматным, если он имеет автоматную структуру.

Рассмотрим моноид частичных перестановок I_n на множестве $\bar{n} = \{1, \dots, n\}$, который состоит из перестановок $\sigma(I_k J_k)$, где $I_k = \{i_1, \dots, i_k\}$, $J_k = \{j_1, \dots, j_k\}$ подмножества из \bar{n} . Обозначим такое подмножество перестановок через $S(I_k J_k)$. Таким образом, $I_n = \prod_{I_k, J_k \subseteq \{1, \dots, n\}} S(I_k J_k)$. Каждое $S(I_k J_k)$ изоморфно S_k . В качестве образующих в S_k выберем $\{\tau_1, \dots, \tau_{k-1}\}$, где каждое $\tau_i = (i, i+1)$ (транспозиция). Образующие в каждом $S(I_k J_k)$ также обозначим через $\{\tau_1, \dots, \tau_{k-1}\}$ (не теряя общности).

В качестве образующих в Br_k выбираются стандартные косы $\{t_1, \dots, t_{k-1}\}$, где коса t_i меняет между собой нити i и $i+1$, причем так, что нить на переднем плане идет слева направо.



В работе [5] доказано, что моноид кос Br_n автоматен. При этом там же показано, что достаточно только построить автомат для каждого L_α . Причем для доказательства используются некоторые свойства группы перестановок и наличие естественного отображения из группы кос в группу перестановок. Однако, как легко видеть, все эти свойства сохраняются (с соответствующими поправками) и для пары частичные косы и частичные перестановки. В том числе и возможность построить автомат, распознающий моноид частичных кос. А именно, повторяя построение для каждой компоненты в формуле (2) так, как это описано в главе 9 в [5] и взяв объединение этих конечных автоматов, получим требуемый автомат.

Изложим основные идеи доказательства.

Для обычных групп перестановок хорошо известны следующие факты. Обобщим их на частичные перестановки.

Каждая частичная перестановка $\sigma \in S(I_k J_k)$ задает частичное отношение порядка $<_\sigma$ на множестве пар $(i; j) \in \bar{n} \times \bar{n}$ по правилу $i <_\sigma j$, если $\sigma(i) < \sigma(j)$. Обозначим через R_σ множество пар $(i; j) \in I_k \times J_k$ таких, что $i < j$ и $i <_\sigma j$. Следующие свойства доказываются для частичных перестановок, так же как и для обычных:

$$R_{\sigma\tau} = \tau^{-1}R_{\sigma}\Delta R_{\tau}, \quad R_{\sigma\tau^{-1}} = \tau R_{\tau}\Delta\tau R_{\sigma} = \tau(R_{\tau}\Delta R_{\sigma}), \quad |\sigma| = |R_{\sigma}|.$$

Далее введем частичный порядок \leq на множестве частичных перестановок:

$\sigma \geq \tau$, если $R_{\sigma} \supset R_{\tau}$. Как и в классическом случае, можно показать, что относительно заданного отношения порядка множество частичных перестановок I_n образует решетку, т.е. для любых двух частичных перестановок σ и τ существуют единственные перестановки $\sigma \wedge \tau$ и $\sigma \vee \tau$ такие, что $\sigma \wedge \tau \leq \sigma$, $\sigma \wedge \tau \leq \tau$ и $\sigma \vee \tau \geq \sigma$, $\sigma \vee \tau \geq \tau$. Существует элемент ω наибольший во всей полугруппе. С его помощью задается инверсия \neg в I_n , задаваемая так $\neg\sigma = \sigma \wedge \omega$. Инверсия имеет порядок два и обращает порядок.

Вернемся теперь к частичным косам. Обозначим через $D_n \subset IB_n^+$ множество кос без повторов, т.е. таких, что любые две нити пересекаются не более двух раз. Ограничение отображения $p_n: IB_n \rightarrow I_n$ на D_n задает биекцию $p_n: D_n \rightarrow I_n$. Обозначим $a < \Omega$, если существует c , такое что $ca = \Omega$. Говорят, что a голова Ω . Наоборот, хвост $\Omega > a$, если существует c с $ca = \Omega$. Оказывается все элементы D_n и только они являются и хвостом, и головой от Ω .

Обозначим $A = \{\tau_1, \dots, \tau_{n-1}\}$. Построим конечный автомат M над A , множеством состояний которого является D . Если автомат M находится в состоянии a и читает слово $\omega \in A^*$, тогда он переходит в состояние $M(a, \omega)$. Определим это состояние сначала для τ_i . Для этого возьмем максимальный хвост от $a\tau_i$, лежащий в D . Так как каждое слово $\omega \in A^*$ представляется в виде образующих τ_i , то индукция по длине слова заканчивает доказательство.

Список литературы

1. Artin E. The theory of braids, Ann. of Math., 48(1947), 101-126.
2. Joan S. Birman, Braids, links and mapping class groups, Princeton University Press, Princeton, N.J., 1974, Annals of Mathematics Studies, 82.
3. Easdown D., Lavers T.G. The inverse braid monoid. Adv. Math, 186(2) (2004), 438-455.
4. Vershinin V.V. On the singular braid monoid, St. Petersburg Math. J. 21 (2010), pp. 693-704.
5. Epstein, David B. A.; Cannon, James W.; Holt, Derek F.; Levy, Silvio V. F.; Paterson, Michael S.; Thurston, William P. (1992), Word Processing in Groups, Boston, MA: Jones and Bartlett Publishers, ISBN 0-86720-244-0.

С.Е. Гавришев, В.Ю. Заляднов, Е.В. Павлова, А.Ю. Погорелов

**ОБОСНОВАНИЕ УВЕЛИЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАРЬЕРА
ПРИ ОТРАБОТКЕ ПОЛОГИХ ЗАЛЕЖЕЙ ПОЛЕЗНОГО
ИСКОПАЕМОГО НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ
«ХУСАИНОВА ГОРА»**

По существующим методикам определена граничная глубина карьера для месторождения с пологим залеганием полезного ископаемого. При этом часть перспективных к отработке запасов остается за граничными контурами. Доказано, что наиболее полное и экономически целесообразное извлечение запасов возможно при дальнейшем использовании выработанного пространства карьера в качестве емкости для складирования промышленных отходов.

Мировое потребление минерального сырья непрерывно возрастает на 5–20% в год при одновременном усложнении горно-геологических и горнотехнических условий разработки открытым способом [1, 2]. Тем не менее, направление открытой добычи полезных ископаемых остается перспективным. Кроме того, само выработанное пространство карьеров имеет высокий ресурсный потенциал и может использоваться в качестве емкости для складирования промышленных отходов. Это доказано имеющимися в настоящее время научными работами [3] и фактическим использованием ранее отработанных карьеров в качестве полигонов для складирования отходов.

Зачастую, при проектировании и разработке месторождений открытым способом, часть запасов полезного ископаемого остается за пределами контура карьера из-за сложности или экономической нецелесообразности их добычи. Однако получаемый ежегодно экономический эффект от реализации емкости карьера как техногенного георесурса, используемого для складирования промышленных отходов, компенсировал бы затраты на добычу оставшихся запасов за контурами карьера.

Возможное увеличение параметров открытой разработки при дальнейшем использовании карьера в качестве техногенного георесурса рассмотрено на примере пологопадающего месторождения известняков Хусаинова Гора.

Лицензионный участок недр Хусаинова Гора расположен в 14 км севернее г. Оренбурга и представляет собой небольшую возвышенность с абсолютной высотной отметкой 135 м. Месторождение представлено пластообразной залежью полезного ископаемого мощностью 12–16 м, длиной 800 м и шириной 400 м. Залежь вытянута с юго-запада на северо-восток. Угол падения залежи составляет в среднем 7° (рис. 1).

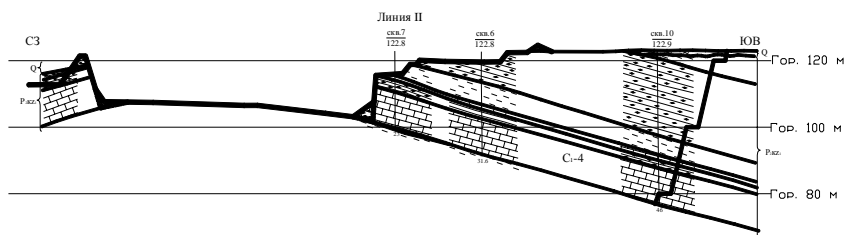


Рис. 1. Геологический разрез месторождения известняков «Хусаинова Гора»

Мощность вскрышных пород (песчаников, глин, суглинков) колеблется от 3 до 22 м. Месторождение ранее обрабатывалось. Существующий карьер участка недр в длину составляет 765 м, в ширину 200 м. Глубина карьера составляет 17–34 м с абсолютными отметки дна карьера 96,0–112,0 м.

Границы всего лицензионного участка ограничены точками 1,2,3,4,5 (рис. 2). Точками 1, 1', 4', 5 выделяется месторождение строительного камня с утверждёнными запасами полезного ископаемого в объёме, равном 1063 тыс. м³.

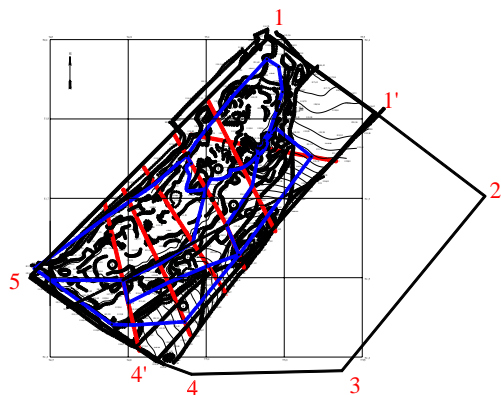


Рис. 2. Границы лицензионного участка

Прирост запасов возможен за счёт разведки восточного крыла месторождения по падению т.1', 2, 3, 4, 4'. Однако в связи с пологим падением залежи одновременно с увеличением запасов строительного камня будет значительно увеличиваться объём вскрышных пород. Следовательно, возникают вопросы обоснованности разведки и последующей добычи камня на данном участке. А также возникает задача определения экономически целесообразной глубины обработки месторождения (табл. 1).

Таблица 1

Определение предельной глубины карьера по существующим методикам

Используемая формула	Глубина разработки месторождения, м	
	Допустимая себестоимость добычи п.и. $C_{п} = 160 \text{ руб./м}^3$	Допустимая себестоимость добычи п.и. $C_{п} = 240 \text{ руб./м}^3$
$H_{ep} = \frac{E_{уз} \times M \times K_{ep}}{ctg \alpha_d + ctg \alpha_e}$	От 6,9 до 7,8	От 17,7 до 19,8
$H_{ep} = \frac{2 \times M \times K_{ep}}{ctg \alpha_d + ctg \alpha_e}$	От 13,3 до 16,1	От 36,6 до 40,9
$H_{max} = \frac{1}{2} \times M \times tg \beta_{max}$	От 32,9 до 36,9	От 83,7 до 93,6

Расчет предельной глубины карьера произведен по 3-м методикам, с разной величиной допустимой себестоимости добычи $C_{п}$. Во втором столбце допустимая себестоимость взята без учета получения прибыли предприятием и рассматривается как теоретически возможная. Таким образом, согласно расчетам экономически целесообразная глубина отработки составляет от 7 до 40 м.

Таким образом, отработка месторождения в границах точек 1,1',4',5 экономически целесообразна. План карьера в границах этого участка представлен на рис. 3.

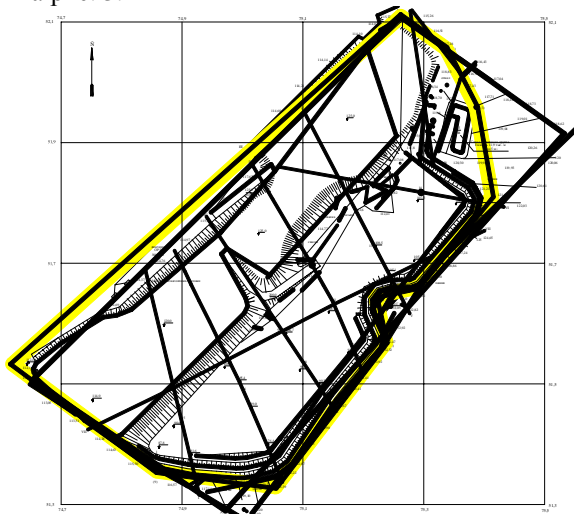


Рис. 3. План карьера на конец отработки в границах точек 1,1',4',5 с внутренними отвалами

Увеличение глубины карьера и площади разработки возможно при использовании выработанного карьерного пространства в качестве емкости для складирования промышленных отходов, что позволит компенсировать затраты на ведение вскрышных работ и увеличить объем извлекаемых из недр запасов полезного ископаемого. Так как складирование отходов на земной поверхности влечёт к необходимости выплат за размещение отходов, а также за занимаемый участок земли, и включает в себя значительный перечень необходимых норм и условий складирования отходов в зависимости от класса опасности отходов и от геологических условий данного участка земли.

Таким образом, карьер как техногенный георесурс имеет определённую ценность [3]. Расчёт ценности выработанного карьерного пространства представлен в табл. 2.

Таблица 2

Расчёт ценности выработанного карьерного пространства

Класс опасности отходов	Параметры				Общая ценность выработанного пространства, млн руб., при расстоянии от источника образования отходов, км				
	Глубина карьера, м.	Объём карьера, тыс. м ³	Кэф-фициент вместимости	Стоимость транспортировки, руб./км	0,1	14	45	88	134
Карьер при отработке месторождения в границах точек 1,1',4',5									
III	40	2700	0,7	12	3513	2961	1711	0,0	---
II	40	2700	0,7	12	5321	4769	3519	1808	0,0
Карьер, образованный при дальнейшей отработке восточного крыла месторождения									
III	60	6300	0,7	12	8198	6911	4163	0,0	----
II	60	6300	0,7	12	12416	11129	8211	4219	0,0

Представленные в табл. 2 данные доказывают экономическую целесообразность отработки залежи месторождения Хусаинова Гора в границах всего лицензионного участка. Кроме того, решается вопрос с размещением промышленных отходов близлежащих промышленных предприятий.

Список литературы

1. Гавришев С.Е. Организационно-технологические методы повышения надежности и эффективности работы карьеров: монография. Магнитогорск: МГТУ, 2002. 231 с.
2. Осинцев Н.А. Безопасность транспортно-технологических процессов открытых горных работ: монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2010. 115 с.
3. Определение ценности техногенных георесурсов / Гавришев С.Е., Заляднов В.Ю., Пыталев И.А., Павлова Е.В. и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. № 2. С.5–7.

С.А. Корнеев, А.М. Мажитов, В.С. Корнеева, Б.Н. Клебан

ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ДОРАБОТКЕ РУДНЫХ ТЕЛ № 3, 5 КАМАГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

Рассмотрены вопросы по пересмотру проектных решений для быстрого ввода и эффективной отработки запасов рудных тел № 3, 5 Камаганского месторождения. Представлены планы горизонтов и трехмерная модель схемы вскрытия участка. Результаты, полученные в ходе выполнения работы, были приняты к внедрению на Сибайском руднике.

Камаганское медноколчеданное месторождение находится на территории Баймакского района Республики Башкортостан, на западной окраине г. Сибай. Оно расположено на восточном склоне Южного Урала в северной части Сибайского рудного поля, в 2,5 км к северу от Ново-Сибайского месторождения.

Руды Камаганского месторождения по минералогическому составу и текстурно-структурным особенностям являются типичными для месторождений колчеданной формации Южного Урала и вполне сопоставимы с рудами таких месторождений, как Сибайское, Подольское, Гайское и пр.

Эксплуатация месторождения начата в августе 2001 г. В настоящее время подземным рудником ведется отработка второго по величине запасов рудного тела № 12.

Рудные тела № 3, 5 (наряду с 12 рудным телом) являются наиболее крупными. Рудное тело № 5 содержит 35,3% всех балансовых запасов месторождения; рудное тело № 3 – 14,9%.

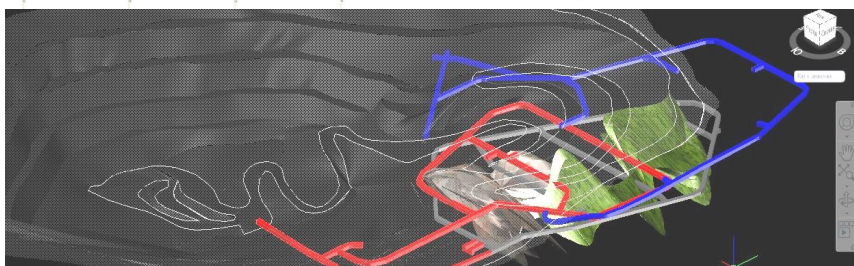
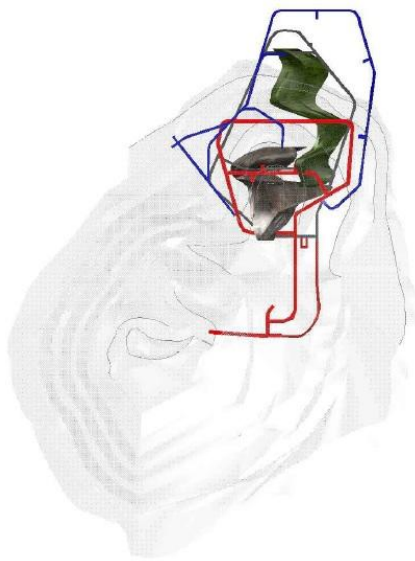
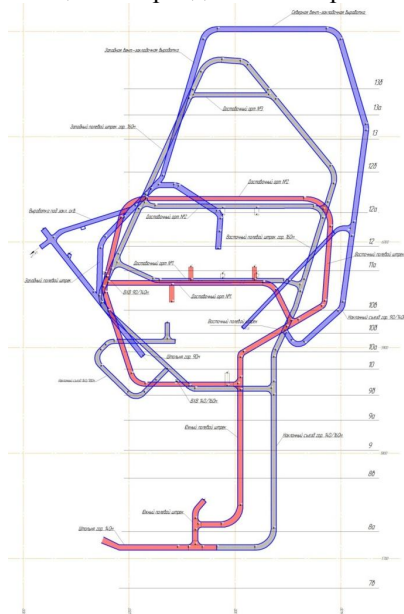
С целью выполнения «Программы освоения и развития сырьевой базы горнодобывающих предприятий г. Сибай до 2015 года» было принято решение пересмотра проекта быстрого ввода и эффективной отработки запасов рудных тел № 3, 5 Камаганского месторождения.

Доступ к рудным телам намечается осуществлять через штольни горизонтов 90 и 140 м. Горизонты 90, 140, 160 и 180 м соединяются между собой наклонными съездами. План горизонтов представлен на рисунке.

Верхняя штольня гор. 90 м служит для выдачи отработанного воздуха, нижняя штольня гор. 140 м – для выдачи горной массы в карьер, входа-выхода людей в подземные горные выработки. В устье штольни гор. 140 м намечена установка временной вентиляторной, в состав которой входят два центробежных вентилятора ВЦП-16 и калорифер. Установка временной вентиляторной обеспечивает снабжение подземных горных работ свежим воздухом не зависимо от общешахтной струи.

Выдача горной массы производится автосамосвалом типа МоАЗ 7405 через штольню гор. 140 м в карьере, где перегружается на автосамосвалы БелАЗ, которые перевозят ее на открытый центральный склад руды у ствола шахты «Скиповая».

Для отработки рудных тел № 3 и 5 в качестве основного принимается вариант камерной системы разработки с твердеющей закладкой и сплошным порядком выемки камер. Параметры камер: максимальная высота до 20 м (определяется мощностью рудных тел и устойчивостью руд и пород), ширина 10 м, длина равна размеру рудного тела вкрест простирания, ориентация камер – длинной стороной вкрест простирания рудных тел.



Совмещенный план горизонтов и трехмерная модель схемы вскрытия участка рудных тел № 3, 5 Камаганского месторождения подземным способом

Подготовка доставочных горизонтов заключается в проведении полевых выработок вокруг рудных тел. Полевые штреки висячего и лежачего боков соединяются секционными доставочными ортами. В центральной части блока выполняется разрезка, т.е. последовательно отрабатываются две камеры. После оформления искусственного целика шириной не менее ширины двух камер очистные работы производятся расходящимися фронтами на секционные доставочные орты. Нормативный срок твердения закладочного массива камеры равен 3 мес. Возможна отработка камер по камерно-целиковой схеме, т.е. разделения камер на камеры первой и второй очереди.

Система разработки включает в себя следующие конструктивные элементы: погрузочные заезды в камеру; буровой орт по почве камеры; вентиляционно-закладочный штрек, пройденный из секционного орта на вентиляционном горизонте; отрезной восстающий.

Погрузочные заезды в камеру проходятся из секционного доставочного орта под углом 90° . Расстояние между осями погрузочных заездов 10–14 м. При возможности проходятся также торцовые заезды.

Днище камеры в конструктивном исполнении может быть плоским или траншейным. При выемке камер, у которых ниже почвы нет запасов руды, предусматривается плоское днище для снижения потерь руды. Буро-подсечной орт проходится со стороны рудного массива или по центру камеры. Угол рудных откосов при траншейном днище $55\text{--}60^\circ$.

Отрезную щель располагают по центру камеры для улучшения дробления руды и повышения интенсивности отработки запасов или на фланге камеры.

Для повышения устойчивости закладочного массива камеры нижнего подэтажа рекомендуется смещать на половину их ширины по отношению к отработанным и заложеным камерам верхнего подэтажа.

Образование отрезной щели производится путем взрывания параллельных или веерных скважин на отрезной восстающий. Параметры отрезной щели: ширина – 2,5–3 м, длина равна ширине камеры.

Отбойка руды в камере производится веерами скважин диаметром 76–89 или 105 мм. Для улучшения дробления руды предусмотрено встречное взрывание скважин. С целью снижения разубоживания руды закладочным материалом концы взрывных скважин располагают на расстоянии 2 м от закладочного массива.

Выпуск руды из камер предусмотрено осуществлять через погрузочные заезды самоходными погрузочно-доставочными машинами с перегрузкой в автосамосвалы.

Для уменьшения потерь отбитой руды на почве камеры при плоском днище предусматривается отгрузка руды ПДМ, оборудованным дистанционным управлением.

Проветривание погрузочных заездов длиной более 10 м производится вентиляторами местного проветривания. Проветривание очистных камер после взрывных работ осуществляется за счет общешахтной депрессии.

Закладка выработанного пространства камер осуществляется из вышележащих подэтажных выработок по скважинам, пробуренным в верхнюю часть камер. Допускается также подача закладочного материала в камеру по вентиляционно-закладочным выработкам, пройденным в кровле камер или в вышележащем массиве закладки.

Пересмотренные проектные решения по доработке в части вскрытия и подготовки способствуют более быстрому вводу в эксплуатацию участка рудных тел № 3 и 5 и снижению объемов горно-капитальных и горно-подготовительных работ, по сравнению с существующим вариантом. Результаты, полученные в ходе выполнения работы, были приняты к внедрению на Сибайском руднике.

УДК 622.7.017.24

И.А. Гришин, В.Ш. Галямов, З.М. Биалова

АНАЛИТИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБЕЗЖЕЛЕЗНЕНИЯ НЕРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Произведен обзор современного состояния каолиновой промышленности Южного Урала, проведен анализ динамики движения зерна в магнитном сепараторе с внешней магнитной системой и рассмотрена целесообразность их применения в качестве аппаратов для предконцентрации каолинового сырья.

Потребность народного хозяйства в качественном каолиновом сырье, основными потребителями которого являются бумажная, керамическая, химическая промышленность, а также предприятия-производители огнеупоров, ежегодно возрастает. Однако существующая сырьевая база не позволяет удовлетворять спрос потребителей за счет селективной выемки каолина из эксплуатируемых месторождений. В этой связи появляется необходимость обогащения некондиционных сортов каолина, которое на данный момент не производится. На горно-обогатительных предприятиях, перерабатывающих каолиновые глины, накоплено значительное количество такого сырья. Открытые склады некондиционного каолина отрицательно влияют на экологическую ситуацию и заставляют предприятия дополнительно расходовать средства на их содержание.

Основным вредным компонентом в нерудном сырье являются минералы железа, представленные магнетитом, титаномagnetитом, бурый же-

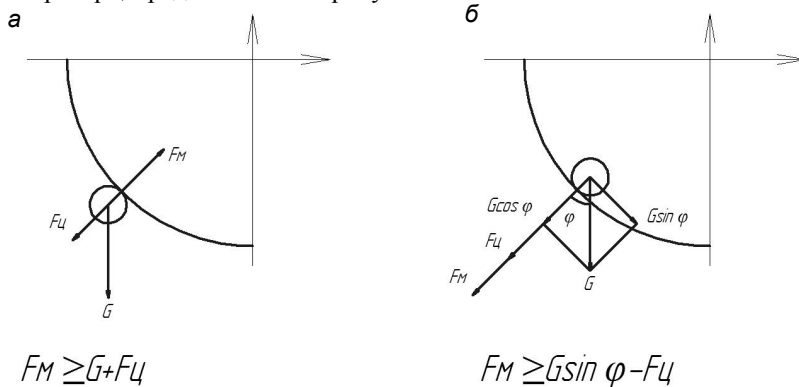
лезняком и прочими окислами и гидроокислами железа [1]. В таблице представлены данные о минералах железа и их крупности в месторождениях Южного Урала.

Характеристика месторождений каолина на Южном Урале

Название месторождения	Железосодержащие минералы	Вкрапленность, мм	Массовая доля $Fe_{общ}$
Кумакское	Магнетит, титаномагнетит, ильменит, бурые железняки, гидрослюда	Менее 0,3	3,2
Журавлиный лог		Менее 0,074	1,1
Еленинское		Менее 0,2	1,2
Кыштымское		Менее 0,056	2,5

В соответствии с данными таблицы все Fe-содержащие минералы имеют вкрапленность не более 0,3 мм, поэтому обогащение данного типа сырья сухой магнитной сепарацией нецелесообразно. Силы сцепления между частицами превышают магнитную и механические силы, поэтому наличие водной среды при разделении частиц такой крупности обязательно. В связи с этим для обогащения каолиновых глин необходимо применять мокрую магнитную сепарацию. Рассмотрим поведение магнитных частиц в магнитных сепараторах с нижней подачей питания (сепараторы с внутренней магнитной системой серии ПБМ, ЭВМ, ЭРМ и т.д.) и магнитных сепараторах с внешней магнитной системой.

Векторы сил, действующих на магнитную частицу в магнитном поле сепаратора, представлены на рисунке.



Действие механических и магнитных сил на частицу в магнитном поле:

а – сепаратор с внутренней магнитной системой;

б – сепаратор с внешней магнитной системой

(F_M – магнитная; F_C – центробежная сила; G – сила тяжести)

За счет внешнего расположения магнитной системы, вектор действия магнитной силы совпадает с вектором действия центробежной силы. Кроме того, сила гравитации G , действующая в сепараторе с внутренней магнитной системой на частицу в полной мере, в сепараторе с внешней магнитной системой, за счет особенностей конструкции будет действовать лишь её часть, равная $G \cdot \sin \varphi$. Таким образом, величина магнитной силы, необходимая для удержания частицы, будет меньше на

$$2 \cdot F_{ц} + \left(\frac{1}{\sin \varphi} - \cos^2 \varphi \right).$$

С увеличением высоты подъема частицы и изменением угла φ разницы в действии силы гравитации будет уменьшаться, отсюда можно сделать вывод, что разгрузку магнитной фракции в сепараторе с внешней магнитной системой необходимо производить на максимально низкой высоте, потому что при подъеме до положения, в котором угол φ будет одинаковым для обоих вариантов конструкции, сила гравитации, действующая на магнитную частицу в сепараторе с внешней и внутренней системой, сравниваются.

В соответствии с основным уравнением динамики разделения минералов [2]

$$\sum F_m \geq F_{мех} + \sum F_{дис} ,$$

можно сделать вывод о том, что для соблюдения условия извлечения или удержания магнитной частицы в сепараторе с внешней магнитной системой необходимо будет приложить меньшую магнитную силу. Если же магнитные силы будут приложены одинаковые, эффективность магнитного сепаратора с внешней магнитной системой в соответствии с формулой, предложенной В.И. Карамазиным, будет выше, за счет изменения избирательности процесса:

$$\eta = 1 - e^{-\text{ИКм}} ,$$

$$И = (F''_{мех} - F''_m) / (F'_m - F'_{мех}) ,$$

где $F''_{мех}$ и F''_m – соответственно механическая и магнитная силы, действующие на частицы, которые не извлекаются в магнитную фракцию; F'_m и $F'_{мех}$ – соответственно магнитная и механическая силы, действующие на частицы, извлекаемые в магнитную фракцию, $K_m = (\chi_2 - \chi_1) / \chi_2$ – относительный коэффициент контрастности магнитных свойств разделяемых материалов. В связи с тем, что значение удельной магнитной восприимчивости материалов значительно снижается с уменьшением крупности [3], при переработке тонкодисперсных материалов, которыми являются каолиновые глины, особое внимание следует уделить перераспределению действия механических сил, направленных на вынос магнитной частицы из магнитного поля, за счет изменения конструкции маг-

нитных систем сепараторов. Это позволяет выделять из тонкодисперсного материала магнитную фракцию, в которую могут быть выделены слабомагнитные минералы и мелкие частицы магнетита. Для более точного анализа динамики поведения магнитных частиц требуется учитывать также силы сопротивления среды.

Список литературы

1. Гришин И.А., Назарова В.В. Новые технологии обогащения и комплексной переработки труднообогатимого природного и техногенного минерального сырья (Плаксинские чтения 2011): материалы международного совещания. Верхняя Пышма, 19-24 сентября 2011 г. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2011. С. 475-477.
2. Карамазин В.И., Карамазин В.В. Магнитные методы обогащения. М.: Недра, 1984. С. 38.
3. Справочник по обогащению руд / гл. ред. Богданов О.С. Т. 2. Основные и вспомогательные процессы. Ч. 1. Основные процессы. М.: Недра, 1974. 448 с.

УДК 622.765

О.Е. Горлова, Ю.И. Хижникова

ЗАМЕНА АЭРАЦИОННЫХ УЗЛОВ МАШИН ФПМ НА АЭРАЦИОННЫЕ УЗЛЫ «РИФ» ФИРМЫ РИВС ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КОНЦЕНТРАТОВ АЛЕКСАНДРИНСКОЙ ГОРНОРУДНОЙ КОМПАНИИ

Проведен анализ технологических показателей работы обогатительной фабрики Александринской горнорудной компании при переработке медно-цинковых руд Александринского и Чебачьего месторождения. Рассмотрена возможность повышения качества получаемых концентратов с помощью замены азрационных узлов во флотомашинах ФПМ на азрационные узлы «РИФ» фирмы РИВС.

Обогатительная фабрика Александринской горнорудной компании по переработке медно-цинковых руд запущена в эксплуатацию в июне 2001 г. Вскрытие и разработка основного рудного тела месторождения «Александринское» осуществлялось комбинированным способом с 2003 года, производительность составляла 450 тыс. тонн руды в год. В связи с отработкой запасов месторождения Александринское в 2010 г. принято решение о разработке месторождения Чебачье. В период с 2010 по 2012 год в процессе выхода на проектную мощность подземного рудника «Чебачий» производственная мощность обогатительной фабрики по переработке руды поэтапно увеличивалась с 450 до 800 тысяч тонн руды

в год. В настоящее время на ОФ перерабатываются два типа руд: медно-цинковая руда Александринского месторождения и медно-цинковая руда Чебачьего месторождения.

До октября 2012 г. ОФ при переработке медно-цинковых руд Александринского месторождения применялась технологическая схема прямой селекции с выделением двух медных «головок», медным циклом и цинковым циклом на хвостах медной флотации. В октябре 2012 г. фабрика перешла на коллективно-селективную переработку медно-цинковых руд, которая включает 3-стадийное измельчение, выделение межцикло-вой медной «головки», второй медной «головки», две коллективные флотации с выделением цинковой «головки» из хвостов первой коллективной флотации (при переработке руды Чебачьего месторождения цинковая «головка» не выделяется по причине невысокого содержания цинка в руде (на уровне 1–1,4%), медный цикл с доизмельчением коллективного концентрата и двумя медными перечистками и цинковый цикл - основную цинковую флотацию, три перечистки цинкового концентрата и контрольную флотацию.

В период с 2010 по 2012 годы для поддержания уровня производства медного и цинкового концентратов в условиях естественного выбывания мощностей по добыче местного сырья была выполнена реконструкция обогатительной фабрики. При реконструкции фабрики обеспечивается прием и переработка медно-цинковой руды месторождения «Чебачье» с увеличением годовой производительности фабрики до 800 тыс. т. Модернизации подвергнуто дробильное отделение, технологическая схема дополнена коллективным циклом флотации, добавлены машины в циклы Сп «головки» и межцикло-вой флотации (МЖЦ), предусмотрено увеличение мощностей для измельчения с размещением нового оборудования в пристройке к главному корпусу фабрики.

В связи с низким качеством получаемых на фабрике концентратов после реконструкции в июне 2012 года ЗАО «РИВС» был проведен технический и технологический аудит обогатительного производства ОАО «АГК». В соответствии с данными товарного баланса, предоставленными ОФ, качество медного концентрата при переработке медно-цинковой руды Александринского месторождения с января по сентябрь 2012 г. колебалось от 13 до 15,6% с извлечением от 72 до 80%, при этом содержание цинка в медном концентрате составляло от 8 до 12%. В этот же период товарное извлечение меди в медный концентрат при переработке медно-цинковой руды Чебачьего месторождения составило от 65 до 73% с качеством от 13,2 до 15%.

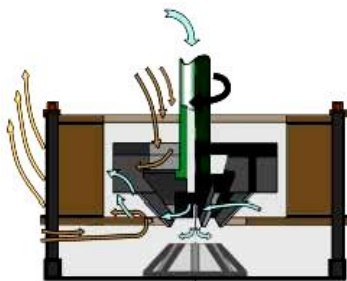
В регламенте 2007 г. приведен расчет качественно-количественной и водно-шламовой схем переработки медно-цинковой руды Чебачьего месторождения по коллективно-селективной схеме, включающей коллективную флотацию и цинк-пиритную. В таблице приведены технологиче-

ские показатели обогащения медно-цинковой руды Чебачьего месторождения в цикле межциклового флотации.

При сравнении регламентных данных и данных опробования, проведенного в октябре 2012 г., извлечение меди в концентрат МЖЦ по регламенту выше – 33,7 против 21,94%, с качеством концентрата 16 против 20,22% по регламенту. Время флотации всего 3 мин, то есть не соответствует регламентному.

Технологические показатели обогащения медно-цинковой руды в цикле межциклового флотации

Наименование продукта	Время флотации, мин	Выход, %	Содержание		Извлечение, %			
			Cu	Zn	От руды		От операции	
					Cu	Zn	Cu	Zn
Показатели регламента 2007 г. по медно-цинковой руде Чебачьего месторождения								
Слив ГЦ II ст. измельч	6	100	1,8	2,4	100	100		
Концентрат МЖЦ		3	20,22	2,1	33,7	2,82		
Хвосты МЖЦ		97	1,23	2,41	66,3	97,38		
Опробование медно-цинковой руды Чебачьего месторождения 16.10.2012 г. по колл-селективной схеме								
Слив ГЦ II ст. измельч	3	100	1,32	1,43	100	100		
Концентрат МЖЦ		1,81	16	1,74	21,94	2,2		
Хвосты МЖЦ		98,19	1,05	1,42	78,06	97,8		
Опробование медно-цинковой руды Александринского месторождения 28.09.2012 г. по селективной схеме								
Слив ГЦ II ст. измельч	4	100	2,12	5,88	100	100		
Концентрат МЖЦ		5,79	15,3	8,11	41,79	15,07		
Хвосты МЖЦ		94,21	1,31	5,74	58,21	84,93		



- Воздух
- Пульпа
- Пульпо-воздушная смесь
- Направление вращения вала

Аэрационный узел флотомашин «РИФ»

узлы в машинах ФПМ в циклах межциклового флотации на аэрационные узлы «РИФ» фирмы РИВС. Принципиальная схема аэрационного узла «РИФ» представлена на рисунке.

Аэрационные узлы «РИФ» полностью совместимы со всеми типами блоков флотомашин (с вместимостью камер от 0,5 до 130 м³) и могут

Отсюда можно сделать вывод о неэффективной работе пневмомеханической флотомашины ФПМ20 производства ОАО «ПО Усольмаш», которая усновлена в операции межциклового флотации, а также несоблюдении режимных параметров в операции межциклового флотации.

Для повышения эффективности работы флотомашин ФПМ необходимо повысить степень аэрации пульпы, находящейся в камере флотомашин. Для решения проблемы аэрации пульпы и повышения качества концентратов рекомендовано заменить аэрационные

быть успешно использованы при реконструкции существующего парка флотомашин на обогатительных фабриках.

Качественно новые гидродинамические условия, создаваемые аэрационными узлами новой конструкции «РИФ» за счет оптимальных придонных и восходящих потоков пульпы, позволяют увеличить количество тонкодисперсного воздуха и снизить мощность, потребляемую приводом блока аэратора новой конструкции.

Оптимальный осевой зазор между импеллером и статором позволяет увеличить номинальный срок службы аэрационных узлов типа «РИФ» по сравнению с существующими узлами с меньшими осевыми зазорами. Показатели по извлечению металлов при этом сохраняются в течение более длительного периода эксплуатации.

Лучшее диспергирование воздуха и вертикальная циркуляция пульпы обеспечивают получение высоких технологических показателей при больших производительностях по потоку пульпы.

Применение аэрационных узлов типа «РИФ» позволяет:

- снизить потребляемую мощность;
- сократить фронт флотации за счет увеличения скорости флотации;
- повысить эксплуатационную надежность.

Аэрационные узлы типа «РИФ» успешно использовались при модернизации пневмомеханических флотомашин на обогатительных фабриках комбинатов: «Ачполиметалл» (Казахстан), «ДГМК» (Казахстан), ВКМХК (Казахстан), «Жескентский ГОК» (Казахстан), «БГМК» (Казахстан), «Молибден» (Россия), «Учалинский ГОК» (Россия), «Печенганикель» (Россия), «Норильскиникель» (Россия), «Эрдэнэт» (Монголия), ГОК «Бор-Ундур» (Монголия) и других. Опыт промышленной эксплуатации подтвердил их преимущество по сравнению с существующими отечественными и зарубежными аэрационными узлами в следующем:

- увеличивается количество тонкодиспергируемого воздуха до 30%;
- обеспечивается равномерное распределение пузырьков воздуха по всей поверхности камеры, спокойный пенный слой с непрерывным съемом пенного продукта в желоба;
- успешно осуществляется флотация частиц широкого диапазона крупности, в том числе класса +0,2 мм и более;
- повышаются технологические показатели по содержанию полезных компонентов в концентратах, снижаются потери полезных компонентов в хвостах.

Таким образом, в связи с неэффективной работой флотомашин ФПМ на Александринской обогатительной фабрике рекомендуется заменить аэрационные узлы указанной флотомашин на аэрационные узлы «РИФ», обеспечивающие более высокую степень аэрации пульпы и имеющие ряд преимуществ по сравнению со стандартными аэрационными узлами. Замена аэрационных узлов должна повысить эффективность работы флотомашин и качество концентратов, выпускаемых фабрикой.

А.Н. Дутченко, А.М. Малов, А.Н. Рыбаков, Б.М. Габбасов

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОНАПОРНЫХ ПОРШНЕВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ОТКАЧКИ ШАХТНОГО ШЛАМА

В данной статье предлагается применение высоконапорных поршневых насосов для перекачки шахтного шлама, определяются направления исследований для повышения эффективности применения шахтного шлама и представляются разработанные технологические мероприятия по сооружению осветлительных выработок и узла откачки шлама для обеспечения и поддержания необходимого состава шлама, которые позволят поршневому насосу работать в оптимальном режиме.

В настоящее время вводится в эксплуатацию и подвергается реконструкции большинство перспективных подземных рудников в связи с необходимостью увеличения добычи полезных ископаемых, что приводит к нарастанию концентрации горных работ, увеличению протяженности горных выработок, глубины разработки и, соответственно, изменению водопритоков в подземные горные выработки. В свою очередь, осушение медноколчеданных месторождений зависит как от гидрогеологических и горнотехнических факторов, так и от применяемых средств осушения, т.е. рудничного водоотлива.

Рудничный водоотлив при обработке медноколчеданных месторождений является одним из важных вспомогательных процессов подземной добычи руд, так как несвоевременная откачка шахтной воды делает невозможным выполнение производственного процесса подземных работ и создает угрозу не только затопления подземного рудника, но увеличивает себестоимость добычи руды. Перекачиваемая шахтная вода характеризуется наличием механического, химического и бактериального загрязнения, а также высокой минерализацией (иногда свыше 70 г/л) [1].

Для нормальной работы оборудования насосных станций рудничного водоотлива необходимо регулярно очищать водосборные емкости (водоотливные канавки, отстойники, главные водосборники, приемные колодцы и зумпфы) подземных рудников от механических примесей.

Несвоевременная очистка водосборных емкостей насосных станций приводит к уменьшению их полезного объема и увеличению загрязненности откачиваемой шахтной воды механическими примесями, что в два-три раза сокращает межремонтный срок службы насосов, так как при заиленных водосборных емкостях насосы перекачивают в час вместе с шахтной водой до 200 кг механических абразивных примесей. Это в три раза больше количества механических примесей, откачиваемых насосами при очищенных водосборных емкостях [2].

При этом очистка водосборных емкостей подземных рудников в настоящее время – сложный, трудоемкий технологический процесс в ча-

стично затопленных и непрветриваемых выработках, требующий вывода из основного технологического процесса очистных работ погрузочно-транспортных машин, составов с локомотивами или другого оборудования, что повышает себестоимость добычи медно-колчеданных руд.

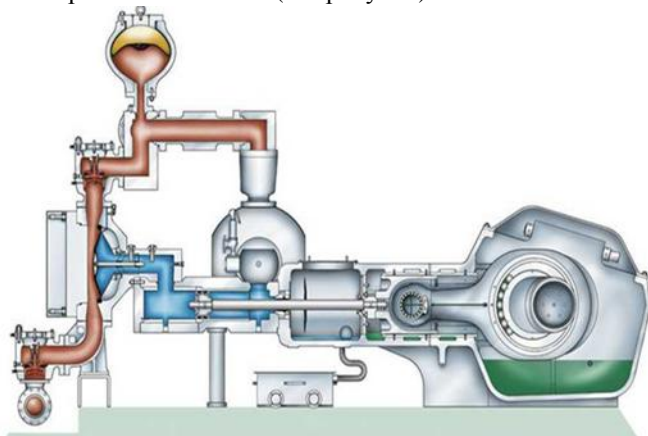
В связи с повышением стоимости энергоресурсов возникает необходимость разработки новых энергосберегающих технологий как при откачке шахтных вод, так и при очистке водосборных емкостей, так как затраты по электроэнергии на рудничный водоотлив составляют до 45–50% от общего ее расхода горным предприятием.

Поэтому вопросы повышения эффективности эксплуатации рудничного водоотлива, обоснования и разработки эффективных технологий откачки шахтных вод и средств очистки водосборных емкостей при обработке медно-колчеданных месторождений являются актуальными для горных предприятий.

В процессе ведения горных работ возникает необходимость в перекачивании больших объемов шлама на дальние расстояния. При этом из-за значительной длины трубопроводов и сложного рельефа местности сопротивления в пульповоде бывают настолько высоки, что напора одного насоса для подачи транспортируемого материала бывает часто недостаточно.

В настоящее время широкое распространение и применение получили центробежные насосы. Оптимальный напор для одного центробежного насоса составляет 50–60 м, хотя иногда, в зависимости от абразивности шлама, применяется напор до 100 м. Для обеспечения перекачки шламов на большие расстояния используется более одного насоса на линии, т.е. применяется так называемая многоступенчатая перекачка.

Для повышения эффективности эксплуатации рудничного водоотлива и снижения энергозатрат на транспортировку шлама предлагается применение поршневых насосов (см. рисунок).



Поршневой насос GEHO ZPM

Вышеперечисленные обстоятельства указывают на необходимость научного подхода к решению проблемы эффективного использования поршневых насосов для перекачки шахтного шлама с целью снижения себестоимости выпускаемой продукции и повышения ее тем самым конкурентоспособности.

Для дальнейшего эффективного применения поршневых насосов необходимо:

- классифицировать шламы по различным физико-химическим и механическим свойствам относительно контактных пар шлам-трубопровод и шлам-элементы насоса;

- разработать методику определения оптимальной скорости движения шлама при минимальных энергозатратах и минимальном гидробразивном износе трубопровода и контактирующих со шламом элементов поршневого насоса;

- разработать технологические мероприятия по сооружению осветлительных выработок и узла откачки шлама для обеспечения и поддержания необходимого состава шлама, которые позволят поршневому насосу работать в оптимальном режиме.

В качестве одного из примеров технологических мероприятий по осветлению шахтной воды, поступающей в водосборники, предлагается строительство двух осветлительных выработок (горизонтальных отстойников), расположенных параллельно существующему центральному откаточному квершлагу. Предусматривается поочередный режим их работы (в работе находится одна из осветлительных выработок, вторая при этом очищается от шлама).

Узел осветления шахтных вод представляет из себя две осветлительные выработки, площадки для размещения оборудования и ремонтных работ, подходные выработки со стороны околоствольного двора, камера поршневого насоса. Данное решение позволит существенно снизить объемы шлама, оседающего в водосборниках и повысить наработку насосов до капитального ремонта, при условии поочередной, непрерывной очистки горизонтальных отстойников.

Для предотвращения поступления воды на главный квершлаг параллельно ему проходится выработка, по которой осуществляется перепуск воды до шламосборников.

Откачка шлама из осветлительных выработок осуществляется шламовым насосом «Wagman» SHW 75-350 производительностью 80 м³/ч с агитатором, подвешенным на мостовом кране, смонтированном в приемной камере осветлительной выработки, по гибкому трубопроводу на вход поршневого насоса «ГЕНО» ZPM 700 высокого давления такой же производительности. Подача осажденного шлама в зону работы шламового насоса обеспечивается трехбарабанной скреперной лебедкой 30ЛС-ЗСМА, установленной в приемной камере осветлительной выработки.

Дальнейшие исследования взаимосвязей и зависимостей между физико-химическими и механическими свойствами шахтного шлама, режимами работы поршневого насоса и гидроабразивным износом трубопровода и разработка технологических мероприятий на основе результатов этих исследований позволят существенно увеличить эффективность использования поршневых насосов для откачки шахтного шлама, а также снизить материальные и энергетические затраты на шахтный водоотлив.

Список литературы

1. Мингажев М.М., Олизаренко В.В. Экспертная оценка источников шламообразования подземных рудников // Материалы 67-й научно-технической конференции: сб. докл. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. Т.1. С.146–150.
2. Олизаренко В.В., Мингажев М.М. Рудничный водоотлив при отработке медно-колчеданных месторождений Южного Урала: монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им Г.И.Носова», 2010. С. 183.
3. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины. М.: Машиностроение, 1983. С. 487.

УДК 62 - 192:519.22

Ю.А. Извеков, Е.В. Кобелькова, Н.А. Лосева

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МОСТОВЫХ КРАНОВ

Смоделирована механическая система (металлургический мостовой кран) на основе дифференциального уравнения в форме Лагранжа. Применяется матричный метод решения частотного уравнения, а система дифференциальных уравнений n массовой системы записывается в операторном виде.

Выявить отдельные элементы или участки механической системы, которые определяют параметр $P(t)$ – вероятности возникновения различных технологических и других дефектов, выработать практические меры по исключению опасных резонансных зон – основная цель при совершенствовании и оптимизации параметров надежности конструкции [1, 3–6]. Для его оценки необходимо смоделировать и построить методику определения для различных элементов механической конструкции, в данном случае для элементов металлургических кранов.

Процесс перехода потенциальной энергии в кинетическую движущихся масс и обратно сопровождается возникновением колебаний в си-

стеме и динамических нагрузок на ее элементы [2]. Колебательное движение металлургического мостового крана можно описать дифференциальным уравнением в форме Лагранжа следующего вида:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) - \left(\frac{\partial T}{\partial \varphi_i} \right) + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_i} = Q_i, \quad (1)$$

где φ_i , $\dot{\varphi}_i$ – перемещение i -го элемента крана и первая производная; Q_i – вынужденная внешняя нагрузка в виде изгибающей или какой-либо другой силы; T – кинетическая энергия свободно колеблющейся системы. При свободных колебаниях принимается [2] нулевое значение правой части формулы 1 ($Q_i=0$),

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (J_i \dot{\varphi}_i)^2; \quad (2)$$

J_i – параметр инерционности элемента в виде момента инерции или величины массы; Π – потенциальная энергия свободно колеблющейся системы,

$$\Pi = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} [c_i (\varphi_i - \varphi_{i+1})^2], \quad (3)$$

c_i – параметр жесткости.

Подставив (3) и (2) в (1) и имея, что

$$\left(\frac{\partial T}{\partial \varphi_i} \right) = 0,$$

получим

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) &= J_i \dot{\varphi}_i \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) = J_i \ddot{\varphi}_i; \\ \left(\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_i} \right) &= c_i (\varphi_i - \varphi_{i+1}) - c_{i-1} (\varphi_{i-1} - \varphi_i). \end{aligned}$$

Тогда уравнение (1) примет вид

$$J_i \ddot{\varphi}_i + c_i (\varphi_i - \varphi_{i+1}) - c_{i-1} (\varphi_{i-1} - \varphi_i) = 0. \quad (4)$$

Для системы, имеющей n масс, количество уравнений (4) будет равно n . Полученная система дифференциальных уравнений решается известными методами [9]. Частное решение такой системы принимаем в виде

$$\varphi_i = \sum_{\alpha=1}^n A_{\alpha} \sin(\omega_{\alpha} t + \alpha_i), \quad (5)$$

где A_{α} – амплитуда колебаний α -й системы; ω_{α} – частота свободных колебаний системы; α_i – фаза колебаний системы.

Подставив решение в систему дифференциальных уравнений, получим систему однородных дифференциальных уравнений относительно неизвестных амплитуд колебаний. Решая его, получим частотное уравнение свободных колебаний системы относительно неизвестных частот ω .

Для такой сложной механической системы, как металлургический кран применяется матричный метод решения частотного уравнения. Для

этого система дифференциальных уравнений n массовой системы записывается в операторном виде:

$$J\ddot{\vec{\varphi}} + C\dot{\vec{\varphi}} = 0, \quad (6)$$

где J – диагональная матрица параметров масс элементов крана; C – симметричная матрица коэффициентов жесткости; $\vec{\varphi}$ – вектор-столбец перемещений элементов системы.

Расчетная динамическая схема системы должна удовлетворять двум главным требованиям: во-первых, она должна быть адекватна реальной системе и, насколько это возможно, отражать основные физические свойства исследуемой системы; во-вторых, она должна быть не очень сложной, чтобы решение динамической задачи оказалось не слишком трудоемким [10, 11]. Основу мостового крана представляет металлоконструкция, состоящая из несущих и концевых балок, которые вместе образуют жесткую конструкцию, способную выдерживать приложенные нагрузки.

На следующем этапе анализа динамической расчетной схемы выявляются те участки несущих конструкций и элементов механизмов подъема металлургического мостового крана, которые будут определять динамику всей системы и ее нагруженность для нахождения входных и выходных параметров системы.

При выполнении динамических расчетов рассматриваемой механической системы будем исследовать движение конструкции крана, испытывающей внешние механические силовые воздействия, которые возбуждают изгибные колебания в виде линейных перемещений элементов с возникновением перегрузок (амплитуд ускорений) и динамических воздействий на них.

Принятый метод анализа механической системы предполагает получение точного решения дифференциальных уравнений, описывающих ее движение с учетом упругих деформаций, а затем уточнение, разработку и применение вероятностных методов прогнозирующего расчета определяющего параметра $P(t)$ на основании исследования случайного процесса изменения входных параметров.

Для достижения поставленной цели используем метод преобразования вероятностей [2, 3, 9]: определяется закон распределения выходных параметров по известному закону распределения вероятности входных параметров. Рассмотрим две случайные величины, связанные функциональной зависимостью: уровень пластической (упругой) деформации и величина действующей нагрузки; статистические характеристики случайной величины Y определяются как функции случайного аргумента X , если задан закон распределения X . Можно записать:

$$p(x, t_1)dx = p(y, t_1)dy, \quad (7)$$

откуда

$$p(y, t_1) = p(x, t_1) \frac{dx}{dy}. \quad (8)$$

Уравнение (8) представляет большой интерес, так как позволяет преобразовать плотности вероятностей входного параметра системы в плотности вероятности выходного параметра.

Таким образом, принимая во внимание опытные или эксплуатационные данные о предельных величинах деформаций и построив кривую плотности вероятности выходных параметров, можно будет судить о величинах выходных параметров для различных параметров нагружения и требуемого срока эксплуатации.

Список литературы

1. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты: в 4 ч. Ч.1. Основы анализа и регулирования безопасности / науч. рук. К.В.Фролов, Н.А. Махутов. М.: МГФ «Знание», 2006. 640 с: ил.
2. Бирюков М.П. Динамика и прогнозирующий расчет механических систем. Минск, 1980. 189 с: ил.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, Физматгиз, 1969. 576 с.
4. Извеков Ю.А., Кобелькова Е.В., Лосева Н.А. Анализ динамики и вопросы оптимизации металлургических мостовых кранов // Фундаментальные исследования. 2013. № 6 (ч. 2). С. 263-266.
5. Извеков Ю.А. Моделирование прогнозирования риска несущих конструкций кранов металлургического производства // Материалы 70-й межрегион. науч.-техн. конференции «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования». Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. Т.1. С. 6-9.
6. Извеков Ю.А. Анализ техногенной безопасности кранового хозяйства России // Современные наукоемкие технологии. 2012. № 12. С. 18–19. URL: www.rae.ru/snt/?section=content&op=show_article&article_id=10000338 (дата обращения: 20.03.2013).
7. Извеков Ю.А., Лосева Н.А. Методология прогнозирования риска металлургического производства как сложной социально-природно-техногенной системы // Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) «Актуальные проблемы развития науки, образования и культуры». Сибай: филиал БашГУ, 2012. С. 352–354.
8. Крылова Е.А., Извеков Ю.А. О подходе к оценке техногенной безопасности металлургического производства // Успехи современного естествознания. 2012. № 6. С. 32-33. URL: www.rae.ru/use/?section=content&op=show_article&article_id=9999573 (дата обращения: 25.03.2013).
9. Степанов В.В. Курс дифференциальных уравнений. М.: КомКнига, 2006. 472 с.: ил.
10. Феодосьев В. И. Сопrotивление материалов. Изд. 10-е / МГТУ. М., 1999.
11. <http://arcon-t.ru/raschetnie-dinamicheskie-schemi/raschetnaya-dinamicheskaya-schema> (дата обращения: 18.03.2013).

Е.В. Мальцева, Н.Н. Тихонова

ИМЕНА ВЕЛИКИХ УЧЕНЫХ В ГЕОГРАФИИ – МИХАИЛ ВАСИЛЬЕВИЧ ЛОМОНОСОВ

Современная Россия смотрит на моря Северного Ледовитого океана как на перспективную территорию, но ее взгляды на развитие Арктического сектора, Северного морского пути, богатства природных ресурсов были заложены и научно обоснованы учеными, на первый взгляд не связанными с географией. Работы великого ученого-естествоиспытателя М.В. Ломоносова рассматриваются как научный вклад в географию и, сегодня, спустя 300 лет, являются актуальными.

Удивительная закономерность – самые великие умы России, такие как М.В. Ломоносов, А.С. Пушкин, Д.И. Менделеев, обращаются к географии!

Многие науки, различные по своему характеру, в том числе и география, считают своим основоположником М.В. Ломоносова, который в течение всей своей научной деятельности занимался различными проблемами географии. Все его предсказания о богатствах нашей страны кажутся современными. М.В. Ломоносов предвидел развитие государства Российского, наличие полезных ископаемых в Сибири и на Дальнем Востоке, на Крайнем Севере и на островах Северного Ледовитого океана, значимость самого Северного Ледовитого океана для России и Северного морского пути.

Ломоносов придавал огромное значение развитию географических знаний, что видно из следующего его «Слова похвального... императрице Елизавете Петровне»: «Что полезнее есть человеческому роду к взаимному сообщению своих избытков, что безопаснее плавающим в море, что путешествующим по разным государствам нужнее, как знать положение мест, течение рек, расстояние градусов, величину, изобилие и соседство разных земель, нравы, обыкновения и правительства разных народов? Сие ясно покажет География, которая вся вселенная обширность единому взгляду подвергает». [1].

Круг географических интересов Ломоносова был чрезвычайно широк: он изучал атмосферное электричество, решал ряд метеорологических проблем, имеющих крупное теоретическое значение; дал замечательный по глубине анализа, силе обобщений и научному предвидению очерк учения о формировании лика Земли; огромны его заслуги в картографии, страноведении и экономической географии.

Многие ученые в середине XVIII в. считали географию придатком той или иной науки, а Ломоносов рассматривал географию как самостоятельную комплексную науку, охватывающую не только природу, но и экономическую деятельность человека.

М.В. Ломоносовым в 1764 году был издан труд по горному делу «Первые основания металлургии или рудных дел», где он дает описание руд и минералов по их внешним признакам. Он рассказал о залегании

руд, указал, как по кусочкам руды, найденным в ручье или речке, можно добраться до жилы. Обращая внимание рудоискателей на значение окраски горных пород, Михаил Васильевич Ломоносов правильно объяснял, что минералы окрашиваются от присутствия окислов железа, меди, свинца и других металлов. Очень ценно было указание ученого о «спутниках» руд. Например, он сообщал, что серный и мышьяковый колчеданы сопутствуют золоту, висмут встречается вместе с оловом и т.д.

Это было первое практическое руководство к поискам руд, основанное на строгих научных наблюдениях, которое разослано по рудникам в помощь русским горным мастерам-рудоискателям, открывшим много новых месторождений на Урале, Алтае и в Забайкалье [2].

Ломоносов не ограничивался только практическими сведениями, он считал, что разведчику недр для успеха в работе необходимо знать, как и в каких условиях образовались отыскиваемые им полезные ископаемые. Поэтому к книге была приложена работа «О слоях земных». В ней Михаил Васильевич изложил свои взгляды на строение земной коры, происхождение горных пород и встречающихся в них окаменелостей и полезных ископаемых, на образование гор, причины перемещения суши и моря и т.д. Таким образом, было положено начало геологической науке в нашей стране. Многие ученые того времени еще не понимали значения встречающихся в земле окаменелостей – останков животных и растительных организмов. Михаил Васильевич утверждал, что останки вымерших животных встречаются там, где жили эти животные. Если окаменелые морские раковины встречаются на суше, то значит, эта суша была некогда дном моря. Ломоносов первый понял, что животные и растения далеких геологических эпох не только сохранились в виде отдельных окаменелых останков, но и участвовали в образовании некоторых слоев земли, например, пластов каменного угля. Также Ломоносов первый указал на образование нефти из останков организмов. Эта мысль получила подтверждение и признание только в XX веке.

Он правильно объяснял образование чернозема, связывая его с накоплением в почве перегноя – остатков отмерших, разлагающихся растительных и животных организмов. Эта мысль Ломоносова в XIX веке получила развитие и подтверждение в исследованиях чернозема В.В. Докучаевым, основавшим новую науку – почвоведение.

Настоящим научным прогнозом в опубликованной монографии в 1757 г. было предположение существования Южного материка. «В близости Магелланова пролива», – писал великий ученый, – «вблизи мыса Доброй Надежды около 53 градусов полуденной ширины льды ходят; почему сомневаться не должно, что в большем отдалении от материков земля многими нисходящими снегами покрыта».

Ему принадлежит первая научная классификация морских льдов, где он выделил покровные ледяные поля, образованные пресными речными водами; «вымороженные» льды непосредственно из морской воды и, наконец, айсберги, отколовшиеся от ледников. Огромные массы льда мо-

гут накапливаться лишь на достаточно обширных территориях. Следовательно, скопление айсбергов свидетельствует о существовании в данном регионе больших участков суши, где находятся крупные ледники. На южных окраинах Африки или Америки подобных ледников нет. Приплыв из Северного полушария в Южное айсберги не могли – растаяли бы в тропической зоне. Значит, рождающие айсберги – это ледники Южного (Антарктического) Заполярья и находятся на материке или крупных островах близ Южного полюса [3].

Теоретическое открытие Антарктиды было замечательным достижением не просто отдельной гениальной личности, но прежде всего - использования научного метода в географии. Ученые научились понимать «язык Земли».

Научное обоснование Северного морского пути – не случайный географический интерес М.В. Ломоносова. Михаил Васильевич был уроженцем Русского Севера и в юности плывал на зверобойных судах в Белом море. Он часто слышал рассказы поморов о походах на Новую Землю, о зимовках на этом арктическом острове, о плаваниях через Карское море в Мангазею (центр пушной торговли в XVII веке), стоящую на реке Таз, о плаваниях казаков и торговых людей в «Сибирском океане» (море Лаптевых и Восточно-Сибирском море).

Изучив историю полярного мореплавания и собрав все имевшиеся в то время сведения по физической географии полярных стран, Ломоносов приступает к составлению проекта большой морской экспедиции, которой ставит задачу разрешения вопроса о Северном морском пути. Первое сочинение Ломоносова на эту тему написано в 1755 году под названием «Письмо о северном ходу в Ост-Индию Сибирским океаном». Главную задачу экспедиции он видел в научных исследованиях Севера. В 1763 года Ломоносов представляет в Морскую российскую флотов комиссию проект экспедиции Северным морским путем, озаглавленный «Краткое описание разных путешествий по северным морям и показание возможного проходу Сибирским океаном в Восточную Индию», которая была издана Гидрографическим департаментом только в 1847 году [5].

Более поздние арктические экспедиции в поисках морского прохода между Азией и Америкой принесли подтверждение, что «заслуга Ломоносова в истории освоения Северного морского пути заключается не только в возможности плавания по нему, но и впервые научно обоснованным и доказательным фактом».

Попутно Ломоносов разрабатывает множество навигационных приборов для плавания в разную погоду, выдвигает целый ряд научных гипотез, которые впоследствии подтвердились только в XX веке. Он даёт объяснение образованию северного сияния, описывает морские льды, впервые дает терминологию полярных льдов. Он первый установил, что речные воды, вливающиеся в Северный Ледовитый океан, способствуют усиленному образованию льда в прибрежных районах. В указании, что «чем мороз сильнее и далее действует, тем лед становится толще», Ломоносов впервые

формулирует зависимость толщины льда от так называемого количества градусо-дней мороза, зависимость, которая впоследствии, главным образом на основании работ советских ученых, нашла себе математическое выражение. Он описал динамику льдов Северного Ледовитого океана, отмечая, что «к движению своему льды имеют две причины: первую – течение моря, вторую – ветры». Это положение и в настоящее время является основой всех исследований по вопросу о дрейфе льдов. Ломоносов указал, что в открытой части Северного Ледовитого океана дрейф льдов должен происходить в направлении с востока на запад [6].

Арктика – стратегический регион, зона интересов арктических государств и других стран с развитой экономикой, которых привлекают перспективы освоения нефтегазового потенциала арктического шельфа. Кроме того, через Арктику проходят морские пути между рынками Северо-Западной Европы и Тихоокеанского региона. При использовании Северного морского пути расстояние по этому маршруту сокращается на 3860 морских миль или на 34% [4].

Характерной чертой Ломоносова, как ученого, было стремление связать разрабатываемые им теоретические проблемы с практическими нуждами страны. Ломоносову было ясно огромное экономическое значение, которое мог бы иметь для России Северный морской путь; было ясно и то, что никто лучше русских, имевших многовековой опыт полярных плаваний, не сможет разрешить эту проблему. Реки, которые несут свои воды в Северный Ледовитый океан, образуют единую транспортную систему с арктическими морями, благодаря чему Северный морской путь играет важнейшую роль в хозяйственной жизни многих обширных внутренних областей нашей страны. Более одной трети территории нашей страны находится за Северным полярным кругом и в своем экономическом и культурном развитии непосредственно связано с Северным морским путем.

Взгляды Ломоносова значительно опередили его время.

Список литературы

1. Ломоносов М.В. Сочинения. 1898. Т. 4. С. 267.
2. Ломоносов М.В. Каталог камней и окаменелостей Минерального кабинета Кунсткамеры Академии наук // Полн. собр. соч. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954. Т. 5. С. 10–241.
3. Баландин Р.К., Маркин В.А. 100 великих географических открытий. М.: Вече, 2004. 480 с.
4. Мальцева Е.В., Попова Е.П. Влияние оледенения на природу Северных материков // Молодежь, наука, будущее. Магнитогорск: ГОУ ВПО МГТУ, 2010. Вып. 10. С.38–40.
5. Гнучева В. Ф. Географический департамент Академии наук XVIII века. 1946. С. 186.
6. [http://www.phys.msu.ru/rus/about/sovphys/ISSUES-2007/5\(58\)-2007/58-4/](http://www.phys.msu.ru/rus/about/sovphys/ISSUES-2007/5(58)-2007/58-4/)

И.Т. Мельников, И.А. Пыталев, И.И. Мельников, Н.С. Шевцов

ГИДРОТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА ХВОСТОВОГО ХОЗЯЙСТВА ОАО «ССГПО»: ИСТОРИЯ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Представлены схемы гидротранспорта отходов обогащения хвостового хозяйства ОАО «ССГПО» с начала эксплуатации и по настоящее время. Отражены проблемы, связанные с изменением сырьевой базы, инженерные решения обеспечивающие адаптивность гидротранспортной системы к изменениям в работе горно-обогатительного производства.

Соколовско-Сарбайское горно-обогатительное производственное объединение (ССГПО) является крупнейшим предприятием евроазиатского региона по добыче и переработке железных руд. Сарбайское месторождение открыто в 1949, впоследствии были открыты Соколовское, Ломоносовское, Южно-Сарбайское, Качарское и Куржункульское месторождения. Строительство комбината начато в 1954 году на базе Сарбайского и Соколовского (С-С) месторождений магнетитовых руд, добыча руды – с 1957 года. Руды С-С месторождений являются комплексными и содержат ряд металлов платиноидной группы и редкоземельные, а руды других месторождений содержат в основном только железо. В советское время основным потребителем концентрата и окатышей являлся Магнитогорский металлургический комбинат, в настоящее время потребителями продукции являются Россия 10,5 млн т и Китай 4,7 млн т (по данным 2011 года).

В структуре горно-обогатительных комбинатов хвостовые хозяйства играют важную роль гидроудаления отходов обогащения, их складирования (желательно раздельно комплексные от некомплексных, формируя, таким образом, техногенные месторождения для последующего освоения), обеспечения всего комбината оборотной водой. Одним из важнейших подразделений хвостового хозяйства является система гидротранспорта хвостов, которая должна быстро адаптироваться к изменению сырьевой базы, модернизации процессов обогащения, увеличению дальности транспортирования и геодезических отметок сброса пульпы. На рис. 1 представлена динамика сырьевой базы ССГПО, из рассмотрения которого следует, что с 1980–85 гг. на С-С карьерах начинается затухание горных работ и в эксплуатацию вовлекаются руды Качарского и Куржункульского месторождений.

Комплексные руды добываются на:

Соколовском, Сарбайском, Южно-Сарбайском карьерах, Соколовском и Сарбайском подкарьерных подземных рудниках.

Некомплексные руды добываются на:

Качарском и Куржункульском карьерах.

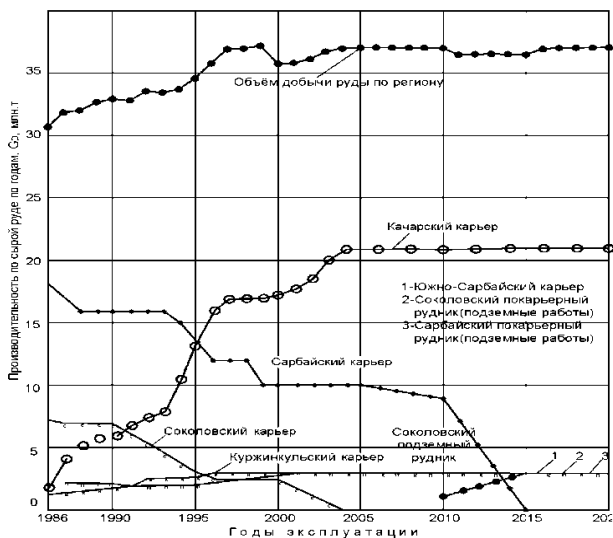


Рис. 1. Динамика работы ССГПО по сырой руде, млн т

Изменение производительности горного производства из-за необходимости получения большего количества концентрата и окатышей по требованию рынка, изменения содержания железа в добываемых рудах, которые различаются по минералогическому составу, текстуре, структуре, требуемому удельному расходу воды на обогащение 1 т сырья по отдельным карьерам и горизонтам, приводит к изменениям количественно-качественных параметров транспортируемой пульпы, а также необходимости быстрой адаптации гидротранспортной системы к динамичным условиям горно-обогатительного производства и развитию хвостохранилищ. Этапы развития гидротранспортной системы хвостового хозяйства ССГПО во взаимосвязи с изменением сырьевой базы представлены на рис. 2. Из анализа представленной информации следует, что с 1963 по 1975 годы объём добычи руды увеличился с 26,0 до 35,0 млн т, а выхода хвостов возрос с 0,277 до 0,354. Этот этап характеризуется доработкой богатых железосодержащих руд и поддержанием производства концентрата и окатышей на одном уровне, что потребовало добычу большего объёма более бедных руд и прогрессирующего выхода хвостов.

В период 1990-1995 годы объём добычи руды изменялся незначительно, а коэффициент выхода хвостов возрос с 0,409 до 0,422. Средневзвешенная крупность частиц транспортируемых хвостов до 1975 года составляла 0,22 мм, в 1990 году возросла до 0,31 мм и в 1995 году снизилась до 0,19 мм, что объясняется вовлечением в разработку труднообогатимых руд, снижением нагрузки на мельницы при измельчении руды для повышения коэффициента выхода концентрата. Это в свою очередь при-

водит к уменьшению нагрузки на гидротранспортную систему за счёт снижения гидравлического уклона и возможности подачи пульпы на более удалённые карты намыва при увеличении геодезической высоты подачи. С аналогичными проблемами столкнулись при эксплуатации хвостового хозяйства ОАО «ММК» [1].

Начиная с 2000 года годовые объёмы складироваемых хвостов возрастают с 13,0 до 17,5 млн т, а объёмы перекачиваемой пульпы – с 260 до 310 млн м³. При этом затраты электроэнергии были снижены с 21,0 до 15,5 кВт*ч/т (рис. 3). В 1995 году на предприятии началось внедрение модернизированного шламового насоса 2ГрТ 8000/71 (экспериментальная серия 2ГрТ 10000/95) [2,3], что позволило исключить из работы ПНС II^ю и отказаться от строительства от ПНС IV^ю–подъёма. Модернизация насосов сопровождалась заменой электродвигателей с 3,2 на 4,0 МВт и применением теристорных преобразователей частоты, позволяющих регулировать частоту вращения рабочего колеса в интервале $\pm 25\%$ от номинальной величины. План развития хвостового хозяйства и гидротранспортной системы до 2020 года представлен на рис. 4.

В качестве магистральных и разводящих пульпопроводов используются стальные трубы \varnothing 1000 и 1200 мм. Общая длина пульпопроводов при замыве I отсека составляла 26,7 км, при замыве II отсека – 83,5 км, III отсека – 87,6 км. Из-за высокой абразивности хвостов ежегодная замена труб \varnothing 1000 мм составляет от 1700 до 6000 м, \varnothing 1200 мм – от 3000 до 8500 м. Из-за дифференциации хвостов по вертикальному сечению происходит неравномерный износ пульповодов и требуется их поворот по мере износа вдоль оси. Общая длина поворачиваемых труб изменяется от 10 до 30 км в год. В настоящее время I и II отсеки хвостохранилища общей площадью 1,05 км² заполнены до проектных отметок, а объём уложенных в них хвостов составляет 315 млн м³. В эксплуатации находится III отсек площадью 0,6 км², в который уже уложено около 40 млн м³. С 2020 года планируется ввод в эксплуатацию IV отсека, расположенного между существующим хвостохранилищем и отвалом вскрышных пород.

Выводы

1. Современные гидротранспортные системы на железорудных ГОК должны быть адаптивными к изменяющимся количественно-качественным характеристикам добываемой руды, их обогатимости и удалённости мест складирования хвостов по мере эксплуатации хвостохранилищ.

2. Значительный расход стальных труб большого диаметра и огромные трудозатраты на их двойной поворот можно устранить путём использования армированных металлом пластиковых пульпопроводов большого диаметра.

3. Внедрение модернизированных насосов с регулируемым приводом позволяет снизить капитальные и эксплуатационные затраты, отказаться от строительства новых ПНС и снизить удельные энергозатраты при эксплуатации гидротранспортной системы.

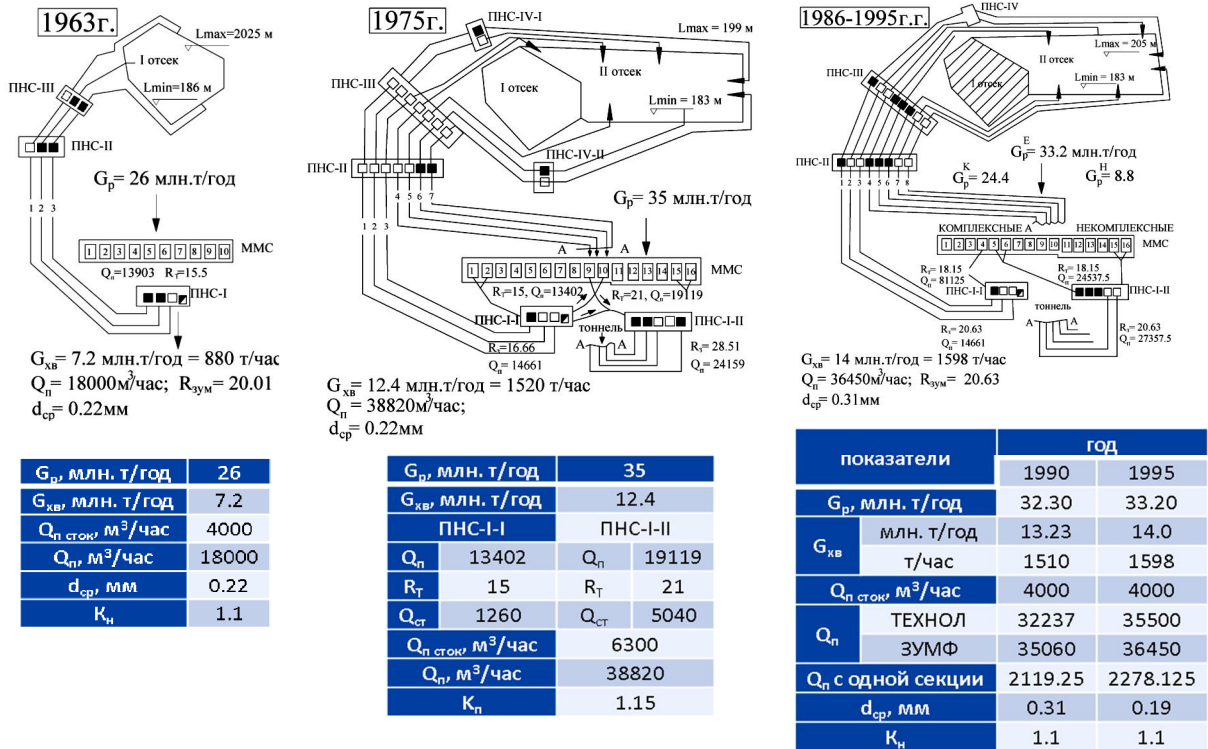


Рис. 2. Этапы развития гидротранспортной системы хвостового хозяйства ССППО во взаимосвязи с изменением сырьевой базы в период 1963–1995 гг.

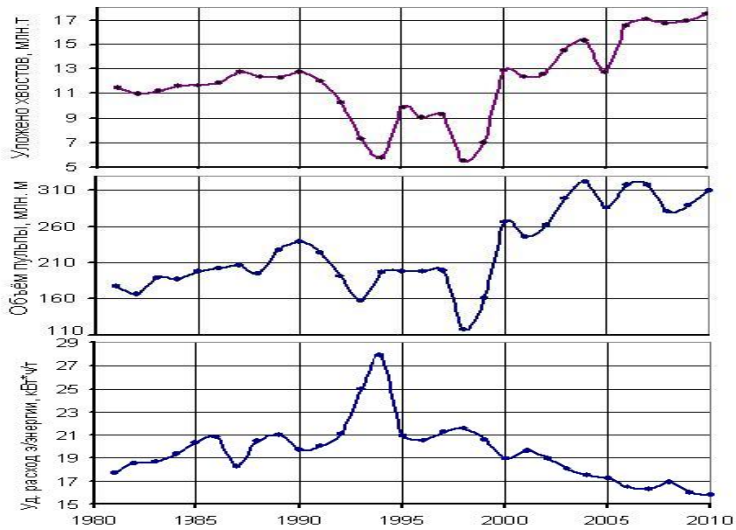
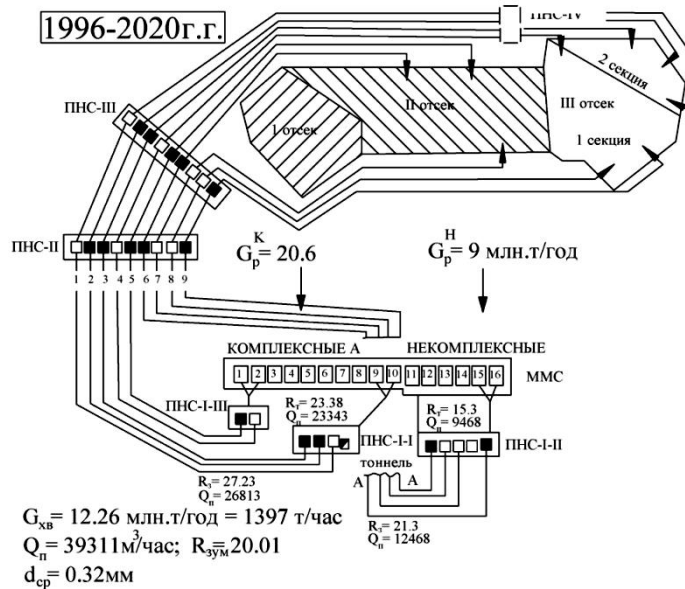


Рис. 3. Динамика количества складированных хвостов, объёмов перекачиваемой пульпы и удельных затрат электроэнергии при гидротранспорте отходов обогащения по годам эксплуатации хвостового хозяйства ОАО «ССГПО»



показатели	Тип руд. хвостов			
	Компл.	Некомпл.	Общие	
G_p , млн. т/год	20.6	9	29.6	
$G_{хв}$	млн. т/год	7.86	4.4	12.26
	т/час	897	500	1397
$Q_{п\ сток}$, м³/час	3500	3000	6500	
Q_n , м³/час	26843	12468	39311	
$d_{ср}$, мм	0.32	0.25	-	
γ_T , т/м³	3.2	2.65	-	
K_n	1.1	1.2	-	

Рис. 4. План развития хвостового хозяйства и гидротранспортной системы ССГПО на период 1996–2020 гг.

Список литературы

1. Опыт эксплуатации хвостового хозяйства ГОП ОАО «ММК» / Мельников И.Т., Суров А.И., Кутлубаев И.М., Мельников И.И., Васильев К.П. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. № 2. С.59–61.
2. Совершенствование конструкции насоса для перекачки шламов металлургического производства / Кутлубаев И.М., Макаров А.Н., Мельников И.Т., Садыков В.Х. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. № 2. С.59–61.
3. Снижение энергоёмкости гидротранспорта хвостов обогатительного производства железорудных горно - обогатительных комбинатов / Мельников И.Т., Пыталев И.А., Кутлубаев И.М., Мельников И.И., Шевцов Н.С. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. № 2. С.15–19.

УДК 622.1.012.3

Е.А. Романько, Л.Р. Янбаева

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГО-МАРКШЕЙДЕРСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ НА УЗЕЛЬГИНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ОАО «УЧАЛИНСКИЙ ГОК»

В статье рассмотрены основные виды работ, выполняемых сотрудниками геологической и маркшейдерской служб на Узельгинском подземном руднике, более подробно – вопросы установления нормативов потерь и разубоживания на примере камеры 8/2 четвертого рудного тела. Определение контура отбойки камеры осуществлялось с применением лазерной сканирующей системы Wireless CMS V400, обеспечивающей более безопасное ведение съемки и точность установления площадей отбойки камеры.

Маркшейдерская служба на Узельгинском подземном руднике выполняет следующие виды работ: составление маркшейдерских планов горных выработок и другой документации; вынесение проектных решений в натуру и их контроль; задание направления горным выработкам и обеспечение их правильного проведения; обслуживание буровзрывных и геологических работ; проверку геометрических элементов комплекса шахтного подъема; съёмку горных выработок, камер и пустот. Установление нормативов показателей использования недр, обеспечение эксплуатационных разведочных работ, подсчет и движение запасов являются задачами, обеспечение которых выполняется совместно геологической и маркшейдерской службами предприятия.

Для каждой выемочной единицы устанавливают нормативный уровень потерь и разубоживания руды, определяют их значение после отработки запасов камеры (блока). При превышении уровня фактических потерь и разубоживания значений нормативных по блоку необходимо установить причину превышения и разработать мероприятия по их предупреждению.

На Узельгинском месторождении ОАО «Учалинский ГОК» для освоения запасов медно-колчеданных руд применяется этажно-камерная система разработки с заполнением выработанного пространства твердеющими смесями. На примере камеры 8 секции 2 горизонта 550 м 4 рудного тела рассмотрим особенности определения потерь и разубоживания руды.

Эксплуатационная разведка камеры 8 произведена путем бурения колонковой скважины глубиной 71,2 м. Для уточнения контура 4 рудного тела в районе камеры 8 пробурено 4 разведочных веера буровой установкой Solo, с последующим проведением в них геофизического каротажа. Установлено бортовое содержание меди - 0,5%; цинка - 0,8%. Геометрические параметры камеры 8/2: длина=17,0 м, высота=43,5 м, ширина=14,0 м. План отработываемой камеры по горизонту 550 м и разрез по закладываемой скважине представлены на рис. 1.

Для расчета нормативных потерь и разубоживания использована методика, разработанная ООО «Уралмеханобр», установлены следующие значения потерь: руды – 7,3%, разубоживания – 19,3%.

Для определения фактического контура камеры после отбойки и отгрузки отбитых запасов камеры выполняется инструментальная съемка. Приборы, используемые при этом, различны: система мониторинга полостей Wireless CMS V400 (лазерная сканирующая система); теодолит типа 4Т30П, 3Т5КП; при невозможности использования вышеуказанного оборудования применяется метод рулеточного замера.

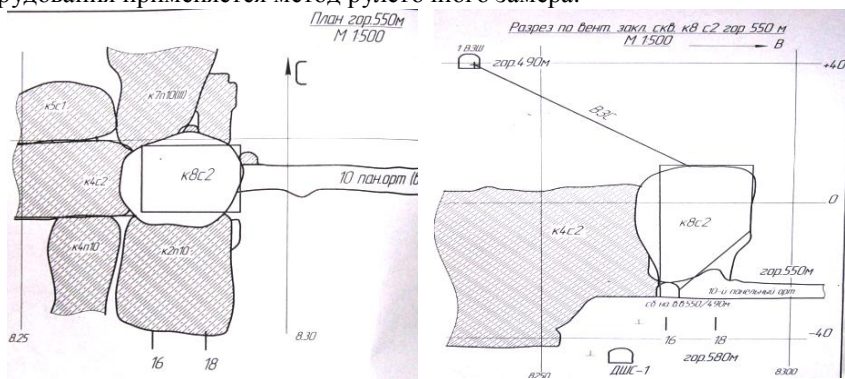


Рис. 1. Камера 8 секции 2. План отработываемого горизонта и разрез по закладываемой скважине

В настоящее время все более широко применяют лазерную сканирующую систему Wireless CMS V400, позволяющую исключить нахождение человека во время съемки в выработанном пространстве камеры и обеспечить более точную фиксацию контура отбойки камеры. Сканер устанавливают в камеру и выполняют съемку фактического контура отбойки камеры. Результаты выполненной съемки импортируют в программный комплекс Surpac путем графической их обработки получают контуры камеры, которые наносятся на разрезы, пикеты и планы. Отработанную камеру разделяют пикетами по длине через каждые 5 м, получив 4 разреза. Разрез по пикету ПК – 16 представлен на рис. 2.

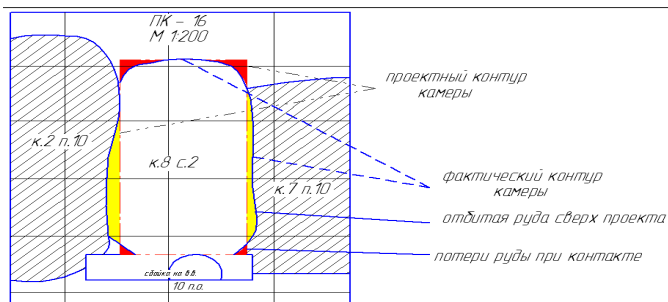


Рис. 2. Разрез камеры 8 по пикету 16

После нанесения результатов съемки фактического контура отбитой камеры на геологические планы и разрезы по камере выделяют контуры потерь, разубоживания и засорения руды и добытой руды сверх проекта путем сопоставления проектного контура камеры с фактическим. Определение потерь, разубоживания и засорения руды выполняют при помощи планиметра, обкручивая соответствующие площади на каждом пикете, на который попадает фактический объем отбитой камеры. По косвенным формулам ведут подсчет общих по камере потерь и разубоживания. Результаты расчета фактических потерь и разубоживания выполняют в программной среде Microsoft Excell и представлены на рис. 3.

Исходные данные: (с проекта)		Удельный вес		руда		бетон		γ = 3,76		γ = 2,65		γ = 1,9		Объем товарной руды		7876 м³		28400 тонн			
Объем камеры		7 058 м³		руда		бетон		γ = 3,76		γ = 2,65		γ = 1,9		Объем проходки		1000 м³		8900 м³			
Потери		26 538 тонн		7,3%		19,3%		Подсчет		к.8 с.2		р.4		гор. 550/480 м.		Объем фактич.		1009 м³			
фактических потерь и разубоживания																					
№ пикета	Площадь отбитой г.м.	Расстояние	Площадь породы	V _{п.п.}	V _{п.п.}	Площадь бетона	V _{бет.}	Площадь потерь руды	V _{п.п.}	Площадь груза в камере	V _{п.п.}	V _{п.п.}	Руда								
а	см²	м	см²	м³	м³	см²	м³	см²	м³	см²	м³	м³	тонн								
б	м²	м	м²	м³	м³	м²	м³	м²	м³	м²	м³	м³	тонн								
16	110,7	443	5	2214	0	0	0	1,1	4	22	0	0	0								
17	127	508	5	2540	0	0	10,5	42	210	2,1	8	42	0								
18	122,6	490	5	2452	0	0	7,3	29	131,4	0,9	4	19	0								
19	67,3	269	4,5	1211	0	0	0	0	0	8,2	25	111,6	0								
	0	0	4,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
ИТОГО :				8417	м³	0	м³	463	м³	194	м³	0	м³								
				0	тонн	0	тонн	880	тонн	728	тонн	0	тонн								
V _{п.п.} =				7954	м³	V _{п.п.} =				29907	тонн										
П =				2,4%	P =				2,9%	V _{закл.} =				9426	м³						

Рис. 3. Расчет фактических потерь и разубоживания руды

В результате расчета установлены фактические значения потерь и разубоживания руды – соответственно 2,4 и 2,9%, что не превышает установленного нормативного уровня для данной камеры.

В работе рассмотрены основные геологические и маркшейдерские работы, выполняемые на Узельгинском месторождении, а также особенности геолого-маркшейдерского обеспечения установления потерь и разубоживания руды на примере камеры 8 секции 2 Узельгинского месторождения комбинированным способом: контур отбойки определяют по результатам съемки лазерной сканирующей системой Wireless CMS V400, потери, разубоживание и выход руды сверх проекта определяют планиметром, а количественное значение этих показателей определяют по известным зависимостям. Однако на Узельгинском руднике не выделяют в отдельный показатель использования недр засорение руды породами закладки, подсеченными при отбойке запасов камер второй очереди. Объем закладки, примешанной к полезному ископаемому, считают разубоживанием.

УДК [658.286.2:004.4]:622.683

А.И. Романюк, С.Н. Корнилов

ИЗМЕНЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ ОАО «ММК» НА ОСНОВАНИИ ИЗ ДЕРЕВЯННЫХ ШПАЛ С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЧНОСТИ И ПРОДЛЕНИЯ СРОКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В данной статье рассматривается одна из проблем в обслуживании путевого хозяйства ОАО «ММК» – несоответствие применяемых элементов верхнего строения пути нагрузкам от подвижного состава. Предлагается заменить подкладки типа КБ на КД.

Рассмотрим подробнее составные части пути на деревянных шпалах (рис. 1). Он состоит из звеньев, которые, в свою очередь, состоят из рельс длиной 12,5 м, скреплённых между собой через деревянные шпалы при помощи креплений типа ДО и стяжных полос собственного производства (рис. 2).

Внедрение стяжек намного улучшило характеристики пути и продлило его эксплуатационные сроки. Стяжной комплект состоит из двух аналогичных частей, которые состоят из головки, сваренной из косынок, металлической полосы 10х150 и подкладки КБ. Принципиальные различия подкладок видны на рис. 3 и 4.



Рис. 1. Железнодорожный путь на деревянных шпалах



Рис. 2. Стяжной комплект

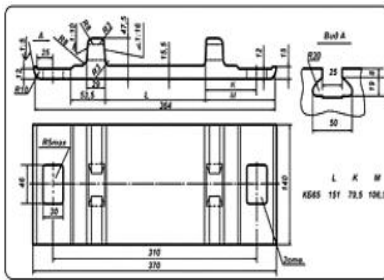


Рис. 3. Подкладка типа КБ

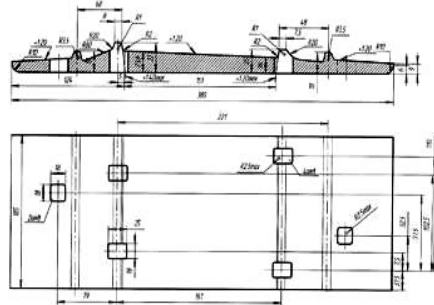


Рис. 4. Подкладка типа ДО

В подкладки типа ДО конструктивно заложена величина подуклонки рельса 1:20, а в типе КБ её нет. Такие особенности обусловлены применением различных типов шпал (рис. 5). КБ созданы для применения на железобетонных шпалах, где в самой шпале имеется подуклонка, а ДО – на деревянных шпалах, где нет никакой подуклонки.

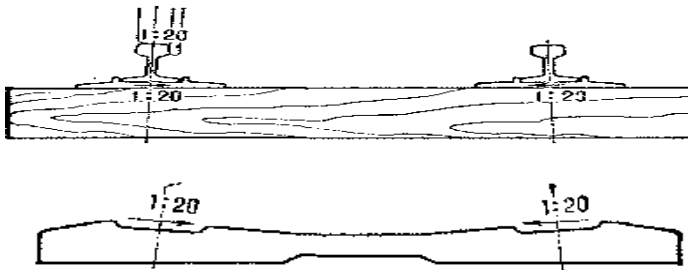


Рис. 5. Подуклонка на различных видах шпал

В результате компоновки разных типов подкладок на одном звене во внутренней части узла скрепления ДО образуется провис.

Изменение позволит равномерно распределить нагрузку на все узлы конструкции звена, как этого требуют конструкционные характеристики каждого из элементов, и в результате такого распределения нагрузки мы получим увеличение сроков эксплуатации, сокращение трудозатрат на содержание путевого хозяйства и, как следствие, сокращение объёмов капитального ремонта пути.

Список литературы

1. ПТЭ железных дорог РФ / Минтранс России. М., 2012.
2. Надежность железнодорожного пути / под ред. В.С. Лысюка. М.: Транспорт, 2001. 286 с.
3. Ребрин Ю.И. Управление качеством: учеб. пособие. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. 174 с.

УДК 681.587: 519.876.5

А.Д. Волощук, И.Г. Жиденко, И.М. Кутлубаев, Е.Г. Филиппов

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ ЗАДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА АНТРОПОМОРФНОГО МАНИПУЛЯТОРА

Рассмотрен механизм, аналогичный руке человека, способный копировать движения оператора на расстоянии. Составлены кинематическая схема задающего устройства, передающего управляющие сигналы на механизм и математическая модель определения движений оператора.

В настоящее время ведутся активные исследования по созданию механических систем, способных совершать активные действия, аналогичные выполняемым человеком [1]. Основная сфера использования таких систем – работа в неблагоприятных для человека условиях: в космосе, под водой, в агрессивной среде промышленных зон и т.д. Характерной особенностью является неопределенность возникающих ситуаций и их непрерывное изменение.

В основе построения исполнительской части манипулятора лежит кинематическая схема, аналогичная руке человека и имеющая не менее семи степеней подвижности (рис. 1). Три основных звена соединены между собой вращательными парами: A_i – вращательные кинематические пары V класса с поперечной осью вращения, ($i = 1, \dots, 3$); B_j – вращательные кинематические пары V класса с продольной осью вращения ($j = 1, \dots, 3$).

Для данных условий наиболее предпочтительным является использование для управления механической системой интерактивных режимов [3].

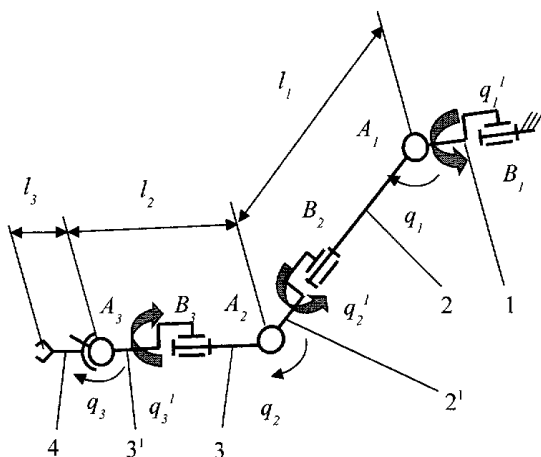


Рис. 1. Кинематическая схема манипулятора: 1 – плечо; 2 и 2' – предплечье; 3 – локоть; 3' – запястье; 4 – кисть

Для управления такой механической системой необходимо создать задающее устройство, снимающее показания действий оператора и передающее управляющее воздействие на исполнительную часть манипулятора.

К задающему устройству предъявляются повышенные требования по комфортности и точности «чтения» задающих движений в суставах человека. Относительно просто данные вопросы решаются с локтевым суставом, являющимся кинематической парой пятого класса. Существенно сложнее обстоит вопрос с определением изменения обобщенных координат в плечевом и кистевом суставах, являющихся вращательными кинематическими парами третьего класса. Имеющиеся на сегодняшний день конструктивные решения имеют значительную массу и/или сложную конструкцию.

Для более точного определения углов относительного поворота в плечевом суставе человека предлагается использовать конструкцию, представленную на рис. 2. Кинематическая цепь руки человека (условимся называть ее основной) в части: «предплечье» (звено 0) – плечевой сустав (вращательная пара O) – «плечо» (звено 1) – локтевой сустав (вращательная пара C) «локоть» (звено 2), соединяется с «считывающим» механизмом: стойка 0 – вращательная пара B – звено 3 – поступательная пара E – звено 4 – вращательная пара D – звено 2. Положение пары B относительно пары A определяется постоянными параметрами: X_b , Y_b , Z_b . Оси вращения пар C и D соосны.

Координаты точки C определяются углами относительного поворота звена 1: q_1 , q_2 , q_3 , прямой замер которых затруднителен. Однако их значе-

ние можно вычислить через обобщенные координаты, определяющие относительные движение звеньев 3 и 4 (q_4, q_5, h) «считывающего» механизма.

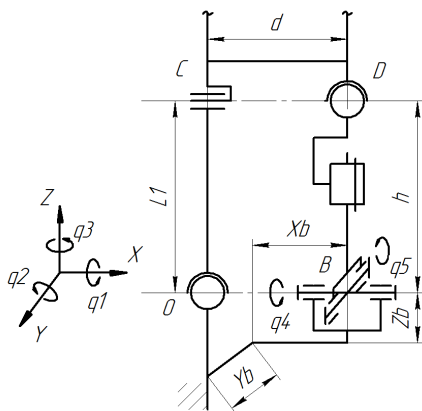


Рис. 2. Кинематическая схема механизма определения углов поворота в плечевом суставе

Одним из наиболее удобных и общих методов получения уравнений кинематики для плоских и пространственных механизмов является метод преобразования координат [2]. В соответствии с этим методом получили следующую систему уравнений для определения углов относительных поворотов в плечевом суставе:

$$\begin{aligned}
 X_b + \sin q_5 * h &= \sin q_2 * l_1 + \cos q_2 * \cos q_3 * d; \\
 Y_b + (-\sin q_4) * \cos q_5 * h &= (-\sin q_1) * \cos q_2 * l_1 + \\
 &+ (-\sin q_1) * (-\sin q_2) * \cos q_3 * d + \cos q_1 * \sin q_3 * d; \\
 Z_b + \cos q_4 * \cos q_5 * h &= \cos q_1 * \cos q_2 * l_1 + \\
 &+ \cos q_1 * (-\sin q_2) * \cos q_3 * d + \sin q_1 * \sin q_3 * d.
 \end{aligned} \quad (3)$$

Параметры q_4, q_5, h измеряются датчиками, фиксирующими относительные положения звеньев. Постоянные параметры, определяющие конструкцию: X_b, Y_b, Z_b, d, l_1 , принимаются на этапе конструирования.

Использование предлагаемой конструкции позволяет оператору управлять манипулятором с большей точностью и в более комфортных условиях.

Список литературы

1. Попов Л. Второй Robonaut принял эстафету в надежде заменить человека// membrana [сайт]. URL: <http://www.kakprosto.ru/kak-45513-kak-oformit-v-spisok-literatury-ssylku> (дата обращения 12.03.2013).

2. Макаров А.Н., Кутлубаев И.М., Усов И.Г. Основы механики многодвигательных машин. Магнитогорск: МГТУ им Г.И. Носова, 2006. 194 с.
3. Создание и исследование робототехнической системы с интерактивным управлением / Богданов А.А., Жиденко И.Г., Кутлубаев И.М., Сычков В.Б. // Решетневские чтения: материалы XVI Междунар. науч. конф., посвящ. акад. М.Ф. Решетневу (7–9 ноября 2012, г. Красноярск): в 2 ч. / под общ. ред. Ю.Ю. Логинова; Сиб. гос. аэрокосм. ун-т. Красноярск, 2012. Ч. 1. С. 230–231.

УДК 622.271.326:622.673

С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, Н.Г. Томилина, А.В. Генкель

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КРУТОНАКЛОННЫХ ПОДЪЕМНИКОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ГОРНОЙ МАССЫ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ СПОСОБЕ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В статье предложена экономико-математическая модель расчета затрат на транспортирование горной массы по базовым технологическим схемам с применением крутонаклонных подъемников при комбинированном способе разработки месторождения, позволяющая выбрать наиболее целесообразную схему доработки месторождения при конкретных условиях.

Переход на подземный способ доработки месторождения обуславливается ростом затрат на транспортирование горной массы с увеличением глубины карьера. Мировой опыт разработки глубоких горизонтов карьера показывает, что наиболее эффективными являются технологические схемы комбинированного транспорта с применением крутонаклонных подъемников [1–3]. Возможность применения и выбор типа подъемника во многом зависят от горнотехнических, горно-геологических и экономических факторов [4]. Для оценки эффективности изменения схемы вскрытия глубоких горизонтов карьера предложено сравнение затрат на добычу руды при традиционной и рекомендованных схемах вскрытия. В традиционных схемах глубокие горизонты вскрываются наклонными съездами с применением автомобильного или комбинированного, например автомобильно-железнодорожного, автомобильно-конвейерного или автомобильно-скипового, транспорта. В ходе исследований выделены шесть базовых технологических схем [5] и соответственно экономико-математических моделей по вариантам вскрытия глубоких горизонтов карьера с расположением подъемников в: I – открытых горных выработках (технологические схемы 1 и 2); II – подземных горных выработках (технологические схемы 3 и 4); III – открытых и подземных горных вы-

работках (технологические схемы 5 и 6). На основе данных моделей получены расчетные показатели при различных горно-геологических условиях месторождения с учетом влияния основных горнотехнических и экономических факторов.

Использование моделей позволяет оценить экономический эффект от применения и взаимодействия подъемников, поскольку обосновано выбранная технологическая схема приведет к снижению затрат на транспортирование, сокращению сроков ввода подземных рудников в эксплуатацию, организации очистных работ на стадии строительства рудника.

Объектом исследований является крутопадающее глубокозалегающее месторождение, обрабатываемое комбинированным открыто-подземным способом. Критерием оптимизации является минимум приведенных затрат на транспортирование горной массы при комбинированном способе разработки месторождения за весь период применения рекомендованной технологической схемы.

Целевая функция представлена в общем виде

$$S_1 - S_2 \rightarrow \max, \quad (1)$$

где S_1, S_2 – приведенные затраты на добычу руды соответственно при традиционной и при рекомендованной схемах вскрытия глубоких горизонтов карьера за весь период доработки месторождения открытым, открыто-подземным и подземным способами, руб.

То есть разность затрат на добычу руды при традиционной и при рекомендуемой схемах вскрытия глубоких горизонтов карьера при комбинированной разработке месторождения должна быть максимальной.

Затраты на добычу руды во многом зависят от схемы вскрытия горизонтов и применяемого вида транспорта. В зависимости от принятой технологической схемы вскрытия глубоких горизонтов карьера затраты на добычу руды слагаются из: капитальных затрат на проходку крутой траншеи, приобретение и монтаж на борту карьера конвейерного или скипового подъемника, сооружение и оборудование перегрузочного пункта, автотранспорта для открытых и подземных работ, проходку подземных капитальных выработок с установкой соответствующего оборудования; эксплуатационных расходов, включающих затраты на дробление и подъем рудной массы, рудоперепуск, вентиляцию, поддержание выработок (заработная плата персонала, материалы, электроэнергия, ремонт оборудования, содержание дорог и прочие расходы); амортизационных отчислений; налоговых отчислений; платежей по кредитам. Момент перехода с открытого на открыто-подземный способ доработки месторождения принят за базовый, поэтому затраты на приобретение и монтаж подъемников, автосамосвалов, сооружение перегрузочного пункта, а также затраты, связанные с эксплуатацией перечисленного оборудования, отнесены к затратам прошлых периодов. Затраты на строительство подземных выработок, необхо-

димых для сокращения срока ввода подземного рудника в эксплуатацию, также отнесены к затратам прошлых периодов. Все остальные затраты отнесены к затратам будущих периодов.

Таким образом, затраты на добычу руды при традиционной схеме вскрытия S_1 предложено рассчитывать по следующему выражению:

$$S_1 = \sum_{t_1=1}^{t_2} S_{O'} \cdot (1+E)^{t-1} + \sum_{t_2}^T S_{\Pi} \cdot \frac{1}{(1+E)^t}. \quad (2)$$

Аналогично рассчитаны затраты при рекомендованной схеме вскрытия глубоких горизонтов карьера S_2 :

$$S_2 = \sum_{t_1=1}^{t_2} S_{O'} \cdot (1+E)^{t-1} + \sum_{t_2}^T S_{\Pi'} \cdot \frac{1}{(1+E)^t}, \quad (3)$$

где t_1 – период доработки, с которого принято суммировать затраты. Для рекомендованной схемы вскрытия горизонтов это период начала реконструкции транспортной системы карьера, годы; t_2 – год ввода в эксплуатацию подземного рудника, годы; S_O, S_O' – затраты прошлых периодов, т.е. затраты периода открытой доработки месторождения соответственно при традиционной и рекомендованной схемах вскрытия горизонтов карьера, руб.

$$S_O = K_O + C_O + M_O + \Pi_O; \quad (4)$$

$$S_O' = K_O' + C_O' + M_O' + \Pi_O', \quad (5)$$

где K_O, K_O' – годовые капитальные вложения соответственно при традиционной и рекомендованной схемах вскрытия горизонтов карьера в период открытой доработки месторождения, руб.; C_O, C_O' – годовые эксплуатационные расходы на добычу руды соответственно при традиционной и рекомендованной схемах вскрытия горизонтов карьера в период открытой доработки месторождения, руб.; M_O, M_O' – сумма годовых амортизационных отчислений соответственно при традиционной и рекомендованной схемах вскрытия горизонтов карьера в период открытой доработки месторождения, руб. Годовые амортизационные отчисления рассчитываются для поверхностных зданий и сооружений и горных выработок по потонной ставке, а на оборудование – по нормам амортизационных отчислений; Π_O, Π_O' – платежи по кредитам. Данный вид платежей имеет место, когда строительство рудника осуществляется за счет заимствования средств в

государственных или коммерческих банках. Процентные начисления за кредит производятся ежегодно. Погашаемая сумма по кредитам складывается из сумм кредита и платежей по ставке платы за долгосрочный кредит, принимаемой в пределах 8–15 %; E – коэффициент учета разновременности вкладываемых средств; t – расчетный год; T – год доработки месторождения подземным способом, годы; S_{Π}, S_{Π}' – затраты будущих периодов, т.е. суммарные затраты открыто-подземного и подземного способов доработки месторождения при традиционной и рекомендованной схемах вскрытия горизонтов карьера соответственно.

$$S_{\Pi} = K_{\Pi} + C_{\Pi} + M_{\Pi} + H_{\Pi} + \Pi_{\Pi}; \quad (6)$$

$$S_{\Pi}' = K_{\Pi}' + C_{\Pi}' + M_{\Pi}' + H_{\Pi}' + \Pi_{\Pi}', \quad (7)$$

где K_{Π}, K_{Π}' – годовые капитальные вложения соответственно при традиционной и рекомендованной схемах вскрытия горизонтов карьера в период открыто-подземной и подземной доработки месторождения, руб.; C_{Π}, C_{Π}' – годовые эксплуатационные расходы на добычу руды соответственно при традиционной и рекомендованной схемах вскрытия горизонтов карьера в период открыто-подземной и подземной доработки месторождения, руб.; M_{Π}, M_{Π}' – сумма годовых амортизационных отчислений соответственно при традиционной и рекомендованной схемах вскрытия горизонтов карьера в период открыто-подземной и подземной доработки месторождения, руб. Годовые амортизационные отчисления рассчитываются для поверхностных зданий и сооружений и горных выработок по потонной ставке, а на оборудование – по нормам амортизационных отчислений; Π_{Π}, Π_{Π}' – платежи по кредитам при традиционной и рекомендованной схемах вскрытия горизонтов карьера в период открыто-подземной и подземной доработки месторождения, руб.

Таким образом, разработанная экономико-математическая модель позволяет оценить и выбрать наиболее целесообразную схему вскрытия глубоких горизонтов карьеров для повышения общей эффективности освоения месторождений комбинированным способом.

Список литературы

1. Еремин Г.М. Разработка и доставка полезных ископаемых на поверхность. М.: Изд-во МГГУ; Изд-во «Горная книга», 2010. 363 с.
2. Вскрытие глубоких горизонтов карьера «Железный» Ковдорского ГОКа подземными выработками / Леонтьев А.А., Белгородцев О.В., Громов Е.В., Казачков С.В. // Горный информ.-аналит. бюл. 2013. №4. С. 212–220.

3. Шешко Е.Е., Картавый А.Н. Эффективный транспорт для глубоких карьеров // Горный журнал. 1998. №1.
4. Гавришев С.Е., Бурмистров К.В., Томилина Н.Г. Обоснование факторов, обуславливающих применение крутонаклонных подъемников при комбинированном способе разработки месторождений // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №4. С. 5–10.
5. Гавришев С.Е., Бурмистров К.В., Томилина Н.Г. Обоснование технологической схемы вскрытия глубоких горизонтов карьеров с применением крутонаклонных подъемников при комбинированном способе разработки месторождений // Горный информ.-аналит. бюл. 2013. №4. С. 108–115.

УДК 622.1: 528

Е.А. Емельяненко, С.Н. Лобач

ОСОБЕННОСТИ МАРКШЕЙДЕРСКИХ РАБОТ ПРИ ПРОКЛАДКЕ КОММУНИКАЦИЙ БЕСТРАНШЕЙНОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ

Рассмотрены направления использования бестраншейных технологий, в том числе метод микротоннелирования, используемый для прокладки коммуникаций в условиях плотной городской застройки, а также виды маркшейдерских работ, обеспечивающие точность горных работ.

Стремительная урбанизация городов и новый этап в развитии промышленности России привели к уплотнению городской застройки, росту протяженности инженерных подземных коммуникационных сетей различного назначения, к стремительному развитию трубопроводного транспорта, при прокладке которого преодолеваются многочисленные естественные (реки, заболоченные пространства) и искусственные (каналы, шоссе, железнодорожные линии, аэродромы и т. д.) преграды. Актуальность работ по подземному строительству без вскрытия грунта с использованием бестраншейных технологий и известных в мире как NO-DIG (не копай) в современном обществе очевидна.

При подготовке к зимней Олимпиаде 2014 г. в Сочи данные технологии нашли широкое применение, так как обладают рядом преимуществ: позволяют вести ремонт и санацию сетей в экстремальных условиях специфических грунтов (скальные породы, плавуны), под реками, озерами, лесными массивами, под действующими железными и автомобильными, взлетно-посадочными полосами аэропортов; значительно уменьшается сметная стоимость строительства трубопроводов за счет сокращения сроков производства работ, затрат на привлечение дополнительной рабочей силы и тяжелой техники; нет необходимости привлекать внешние источники электроэнергии при производстве работ в связи с полной автоном-

ностью установок; эти технологии компактны, мобильны, надежны, обладают высокой скоростью и качеством, что особенно важно при производстве работ в условиях современного города. Так, скорость проведения работ зачастую достигает 100 м уложенного трубопровода в сутки.

К основным методам бестраншейной прокладки коммуникаций относятся:

1. Горизонтально направленное бурение (ГНБ), применяется при прокладке коммуникаций через водные преграды по заданному направлению.

2. Продавливание или микротоннелирование, используется при прокладке в городских условиях на больших глубинах (до 80 м) и на значительные расстояния (до 1,5 км) с отклонением от проектной оси не более 30 мм.

3. Метод прокола используется при прокладке инженерных коммуникаций через автомобильные и железные дороги на небольшие расстояния (до 50 м) и на малых глубинах (до 5 м).

По данным Российского общества бестраншейных технологий (РОБТ), 99% всех подземных коммуникаций в России прокладываются в скважинах диаметром до 900 мм. С учетом 60–80% изношенности подземных коммуникаций, а также принимая во внимание потребность в строительстве новых коммуникаций, отечественный и зарубежный опыт, самым перспективным в России оборудованием для этого вида работ в настоящее время являются микрощиты, установки направленного горизонтального бурения (ГНБ) и пневмопробойники, каждое из которых имеет свою рациональную область применения.

Студенты, обучающие по специальности «Маркшейдерское дело», во время производственных и преддипломных практик также принимали активное участие в строительстве электросетевой инфраструктуры столицы зимней Олимпиады 2014 года. Так, при создании трассы кабельных линий электропередач метод микротоннелирования и прокладка кабеля на глубине 30 м между Сочинской ТЭС и подстанцией позволили обойти плотную городскую застройку. Данная технология позволяет прокладывать коммуникации без производственных шахт на расстояния до 200 м, а с применением специальных промежуточных домкратных станций – до 450 м. Преимуществом проходки микротоннелированием является осуществление водопонижения только в зоне стартовой шахты, что существенно сокращает сроки строительства. Нет необходимости и в прокладке стального футляра, за счет чего повышается несущая способность коллектора, снижается стоимость работ. Данный метод отличается высокой точностью проходки, отклонение от проектной оси составляет не более 30 мм. Это обеспечивается специальным компьютерным комплексом управления на основе системы лазерного наведения щита. Микротоннелирование комплексом AVN осуществляется в автоматическом режиме. Вся проходка наблюдается непосредственно оператором, его местонахождение базируется в центре управления микротоннеля.

Для обеспечения горно-строительных работ проводился комплекс геодезических работ по созданию геодезического обоснования. В качестве исходных пунктов для построения маркшейдерской опорной геодезической сети служили пункты государственной геодезической сети и сетей сгущения. Плановой геодезической основой на поверхности служили пункты полигонометрии 1 разряда (при $L < 1$ км). Высотной основой являлись реперы и марки городской или государственной геодезической сети IV класса (РД 07-226-98).

В целях обеспечения опорными пунктами, сбойки тоннеля в плане, перенесения проекта в натуру, различных разбивок и съемок на стройплощадке прокладывалась подходная полигонометрия – система ходов или замкнутых полигонов со сторонами длиной от 30 до 70 м и общей длиной не более 300 м, опирающаяся на пункты основной полигонометрии. Точность измерений в полигонометрических ходах: средние квадратические погрешности измерения горизонтальных углов – 20», вертикальных – 30». Относительная погрешность при измерении длин сторон, по результатам двойных измерений, не должна превышать 1:3000.

Для обеспечения работ в вертикальной плоскости: сбойки тоннеля в профиле, производства высотных разбивок и съемок создавалась высотная основа.

Так как опорная геодезическая сеть была создана Заказчиком работ, маркшейдерской службой ЗАО «МПСО «Шахтоспецстрой» производилось сгущение сети. На стройплощадке у каждого ствола закладывалось не менее 3 пунктов. Знаки геодезической разбивочной основы закладываются с учетом обеспечения их сохранности, удобства установки угломерных инструментов и визирных марок, прямой видимости на ближайшие порталы и стволы. При строительстве стартовой и приемной шахты вынос центра и осевых точек шахты производится с пунктов подходной полигонометрии. Расхождение положения центра шахты из двукратных определений не должно было превышать 0,2 м. Маркшейдерские работы при сооружении ствола способом опускного колодца включали контроль за цилиндричностью колодца на всех этапах строительства, контроль за соблюдением вертикальности оси колодца в процессе опускания. После установки на подготовленное основание ножевой части колодца ее нивелировали по 8 диаметрам. Допустимая разность отметок + 10 мм. Также на практике нами осуществлялись маркшейдерские работы при вводе комплекса в эксплуатацию и проходке тоннеля. Производилось **закрепление оси проходки тоннеля**. Вынос оси осуществляется с пунктов маркшейдерского обоснования. Основная ось закреплялась на верхней опорной раме. К раме приваривались металлические скобы, на которых были сделаны напилы по оси тоннеля с точностью 1 мм.

В шахте аналогично на скобах закреплялась рабочая ось и переносилась с верхней основной при помощи отвесов. Рабочая ось закреплялась выше рамы продавливания на 1–1,5 м на сегментах крепи, не подверженных деформациям при работе проходческого комплекса. Рама продавливания выставлялась в плане и профиле на днище ствола. В плане рама

выставляется от отвесов, опущенных с рабочей оси. Положение проверяется промером рулеткой от отвеса до стенок рамы. В профиле рама выставлялась при помощи нивелира в проектную отметку и с проектным уклоном. После выставления рамы продавливания с письменного разрешения маркшейдера (в Книге маркшейдерских указаний) производилось бетонирование опорной стенки. Маркшейдер также принимает участие в монтаже лазера, который позволяет обеспечить высокую точность проходки автоматизированного комплекса, осуществляет контрольную съемку положения щита, контроль положения щита при проходке тоннеля, сбойку тоннеля с приемной шахтой.

Монтаж лазера. В задней опорной стенке при бетонировании оставляется не залитый бетоном участок днища и стены для независимого монтажа лазера. Лазер монтируется по закрепленной рабочей оси и при помощи нивелира выставляется в проектную отметку. В данном комплексе оборудования используется автоматический проходческий лазер VL-70, разработанный специально для микротоннелирования. Из лазера выходит автоматический заданный целевой луч с нужным уклоном. По направлению луч выставляется и в последующем контролируется по отвесам с рабочей оси.

Контрольная съемка положения щита. После полного монтажа проходческого комплекса производится контрольная съемка положения щита. При помощи нивелира – в профиле, от опущенных отвесов с рабочей оси – в плане проверяется: фактическое положение рамы продавливания; фактическое положение выставленного щита: фактический уклон, фактическое положение в плане, разворот щита (рыск). По данным контрольной съемки составляется Акт ввода щита. Результаты съемки записываются в Книгу маркшейдерских указаний, на основании чего оператор AVN вводит поправки в навигационную программу комплекса.

Контроль положения щита при проходке тоннеля. Контроль положения щита производится при использовании тахеометра. Инструмент выставляется в шахте по оси тоннеля и производится съемка фактического положения щита (отражатель закрепляется на мишени в щите). Первая съемка проводится через 15 м проходки, последующие – через каждые 40 м. Данные съемки оформляются маркшейдерским предписанием, на основании которого оператор AVN при необходимости вводит поправки в навигационную программу.

Сбойка тоннеля с приемной шахтой. После выхода щита в приемную шахту производится контрольная маркшейдерская съемка тоннеля. Результат оформляется Актом. Выполняется исполнительная графическая документация по готовому тоннелю – вычерчивается план и профиль.

Таким образом, бестраншейные технологии обретают все большее распространение в России, благодаря прокладыванию коммуникаций без вскрытия земной поверхности. Несмотря на автоматизацию проходки тоннелей с помощью комплексов AVN, маркшейдерская служба присутствует при производстве работ и играет одну из основных ролей успешного выполнения работ. Это достигается своевременным контролем за проходкой на всех его стадиях.

Н.Г. Караулов, А.Р. Белан, В.Н. Шаров

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА УДАЛЕНИЯ СКАЛЬНОЙ ВСКРЫШИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МРАМОРА

Рассмотрена возможность совместной отработки скальной вскрыши и добычного горизонта одним высоким уступом с использованием АКМ и БКМ. Исследовано влияние высоты уступа в диапазоне от 6 до 12 м на срок строительства карьера при совместной отработке скальной вскрыши и добычного горизонта АКМ. Установлено увеличение производительности камнерезного оборудования и снижение капитальных затрат.

Одной из главных особенностей при разработке месторождений облицовочного камня является требование сохранения монолитности добываемых блоков и их декоративных качеств, обеспечение правильной геометрической формы блоков и сохранности разрабатываемого массива. В наибольшей степени таким условиям удовлетворяет алмазно-канатное пиление [1]. В настоящее время на большинстве карьеров по добыче мрамора внедрены алмазно-канатные машины (АКМ), при этом возможности данного оборудования используются не в полной мере, например (АКМ) практически не применяются при удалении скальной вскрыши.

Как правило, в России трещиноватый мрамор традиционно обрабатывают баровыми камнерезными машинами (БКМ), причем на отработку данного слоя приходится от 40 до 80% времени, затрачиваемого на строительство карьера [2].

Строительство карьера при традиционном подходе с производственной мощностью по блокам 10 тыс. м³ может длиться 3–5 лет. Вследствие чего предприниматель вкладывает деньги в опытные карьеры и, не находя там выхода товарных блоков, прекращает дальнейшую разработку [3], как при разработке месторождений: Рыскужинское, Еленинское и т.д.

С целью сокращения времени строительства карьера исследована возможность совместной отработки скальной вскрыши и добычного горизонта одним высоким уступом комбинированной отработкой с использованием АКМ и БКМ. Комбинация АКМ и БКМ позволяет увеличить высоту ступа, сократить время удаления скальной вскрыши за счет повышения производительности оборудования. При этом применение БКМ на горизонтальной подрезке монолита устраняет трудоемкое горизонтальных шпуров [4].

Высота уступа при использовании АКМ в отличие от БКМ не фиксирована и на добычных горизонтах определяется исходя из условия обеспечения максимального выхода блоков. Для обоснования высоты уступа при совместной отработке скальной вскрыши и добычного горизонта АКМ исследовано влияние высоты уступа в диапазоне от 6 до 12 м

на срок строительства карьера (рис. 1). В расчетах принята проектная производительность карьера 45 тыс. м³, выемочно-погрузочное оборудование, передвижной кран.

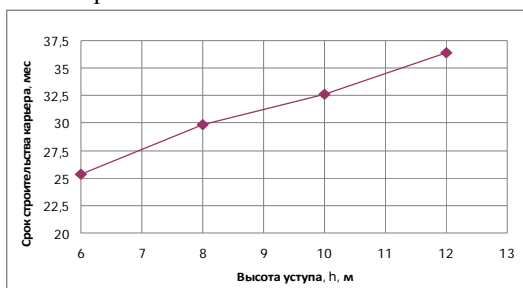
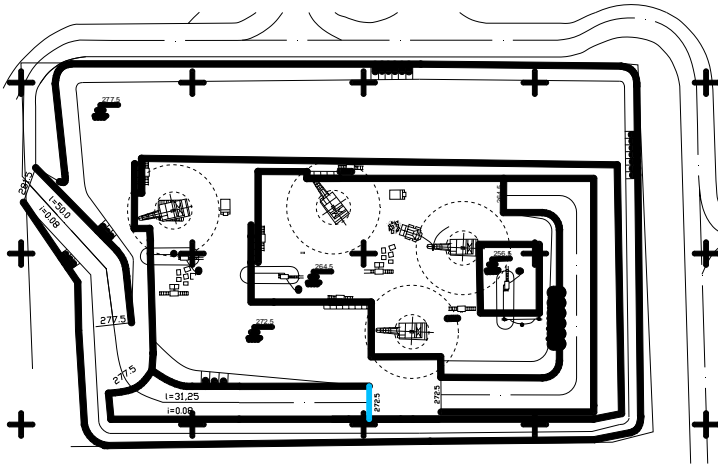


Рис. 1. График зависимости срока строительства карьера от высоты уступа

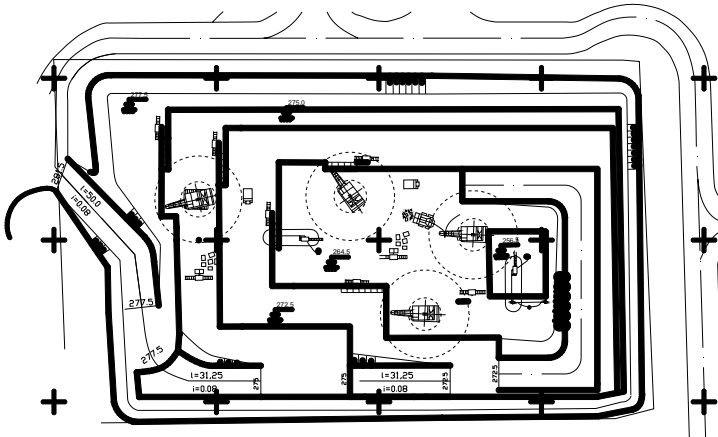
Как видно из графика (см. рис. 1), рост высоты уступа значительно увеличивает срок строительства карьера за счет увеличения объемов скальной вскрыши, в связи с чем в дальнейших расчетах принимается высота вскрышного уступа 6 м.

В условиях Редутовского месторождения проведен анализ вариантов строительства карьера с использованием для удаления скальной вскрыши БКМ (рис. 2, б) и АКМ (рис. 2, а).

В результате проведенных исследований установлено, что при производительности карьера 45 тыс.м³ по мрамору удаление скальной вскрыши комплексом из АКМ и БКМ при высоте уступа по скальной вскрыше 6 м позволяет увеличить рентабельность предприятия с 8,9 до 13,5 %, снизить период строительства карьера на 2 мес по сравнению с применяемым в настоящее время комплексом из баровых камнерезных машин. Эффективность применения комплекса АКМ и БКМ объясняется главным образом увеличением производительности камнерезного оборудования и снижением капитальных затрат. Наряду со снижением капитальных затрат использование АКМ при удалении скальной вскрыши позволяет получать попутную добычу в более ранний период.



а



б

Рис. 2. Строительство карьера с различным камерезным оборудованием, используемым при удалении скальной вскрыши: а – удаление скальной вскрыши АКМ и БКМ; б – удаление скальной вскрыши БКМ

Список литературы

1. Першин Г.Д., Уляков М.С. Обоснование способов подготовки к выемке блочно-го природного камня высокой прочности // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2010. №4. С. 14–19.

2. Долговых Ю.В. Систематизация способов вскрытия рабочих горизонтов при разработке месторождений мрамора // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2011. С.26-33.
3. Обоснование способов комплексного использования мраморного сырья / Першин Г.Д., Караулов Г.А., Караулов Н.Г., Караулов А.Г. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. №1. С. 31-35.
4. Першин Г.Д., Косарев Л.В. Рациональные условия совместной работы канатной пилы и баровой машины в составе добычного звена на мраморном карьере // Камень вокруг нас. 2009. №21. С.12–15.

УДК 622.33.013

И.Т. Мельников, В.Ю. Заляднов, Е.В. Павлова, Д.П. Плотников

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ РАЗВИТИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ БОРТОВ КАРЬЕРОВ

Определены затраты предприятий, разрабатывающих месторождения открытым способом, в результате заниженного значения угла откоса борта по сравнению с требуемым углом по условию устойчивости. Причиной занижения углов фактически сформированных бортов является недостаточная изученность характеристик массива. Расходы предприятий можно оптимизировать, вкладывая деньги в проведение дополнительных мероприятий по уточнению характеристик массива.

Для оценки оптимальных параметров бортов карьеров отечественными и зарубежными учеными разработаны различные методы их расчёта, различающиеся по форме потенциальной поверхности обрушения: круглоцилиндрическая [1–3], логарифмическая спираль, кубический сплайн, плосколоманная кривая [4, 7]. Кроме потенциальной поверхности скольжения, на результаты оценки устойчивости карьерных откосов оказывает способ расчёта. Метод, основанный на сумме моментов для круглоцилиндрической поверхности скольжения, предложен и усовершенствован в трудах [5], способ Бишопа реализует метод моментов и метод проекций сил на одну из осей [6] и упрощённый способ Ямбу дефицита сил основан на методе проекций сил на обе оси координат [7]. Сравнительный анализ вышеперечисленных способов расчёта устойчивости откосов горнотехнических сооружений показывает, что расхождение в определении основных технологических параметров не превышает 10–15%.

В большей степени определение оптимальных параметров бортов карьеров зависит от физических и механических свойств пород и других характеристик массива. Однако, в целях экономии, во время подготовки

исходных данных для проектирования недостаточное внимание уделяется детальному изучению характеристик массива, от которых зависит точность определяемых параметров откосов бортов. Так, коэффициент вариации при определении физико-механических свойств горных пород в приоткосных массивах превышает 20–30%. Зачастую, уточнение свойств пород массива и других условий производится на этапе разработки месторождения. В результате, коэффициент запаса устойчивости фактически сформированных бортов карьера может превышать нормативное значение или, наоборот, быть меньше. Заниженное значение коэффициента означает вероятность происхождения деформации откосов и необходимость дорогостоящей ликвидации последствий. Завышенное значение коэффициента запаса устойчивости означает перерасход средств, затраченных на вскрышные и отвальные работы [8].

На примере условного откоса борта карьера (рис. 1) показано изменение площади ΔS и соответственно объемов ΔV вскрыши в зависимости от изменения угла откоса борта карьера (см. таблицу).

Излишний объем вскрыши, на который предприятие затрачивает средства, в результате заниженного значения угла откоса борта определяется:

$$\Delta V = \Delta S \times L, \quad (1)$$

где L – протяженность борта карьера, м.

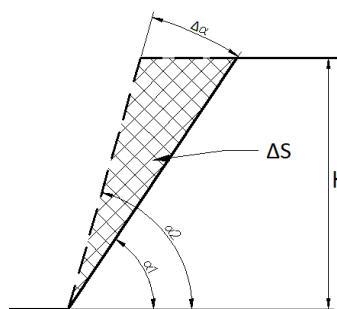


Рис. 1. Поперечный разрез условного борта карьера:

α_1 – угол борта, характеризующийся завышенным, по сравнению с нормативным, значением коэффициента запаса устойчивости;

α_2 – угол борта, характеризующийся нормативным значением коэффициента запаса устойчивости;

$\Delta\alpha$ – изменение угла откоса борта карьера;

H – глубина карьера

Значения изменения объема ΔV , на длину протяженности борта $L=1000$ м при изменении глубины карьера и угла откоса на величину $\Delta\alpha$

Проектный угол борта карьера	Высота борта карьера	$\Delta\alpha=0,5$					$\Delta\alpha=1$				
		100	200	300	400	500	100	200	300	400	500
30	Изменение объема	0,17	0,69	1,55	2,75	4,30	0,34	1,36	3,05	5,42	8,47
35		0,13	0,52	1,18	2,10	3,27	0,26	1,04	2,33	4,14	6,47
40		0,10	0,42	0,94	1,67	2,61	0,21	0,83	1,86	3,31	5,17

45	вскрыши,	0,09	0,35	0,78	1,38	2,16	0,17	0,69	1,54	2,74	4,29
50	млн м ³	0,07	0,30	0,66	1,18	1,85	0,15	0,59	1,32	2,35	3,66

Методика расчета определения изменения площади ΔS базируется на геометрических свойствах прямоугольного треугольника:

$$\Delta S = \frac{H^2}{2} (\operatorname{ctg}\alpha_1 - \operatorname{ctg}\alpha_2). \quad (2)$$

На рис. 2 представлена номограмма, правая часть которой показывает изменение объема вскрыши ΔV в зависимости от угла откоса борта α . За постоянную величину взята глубина карьера $H=300$ м.

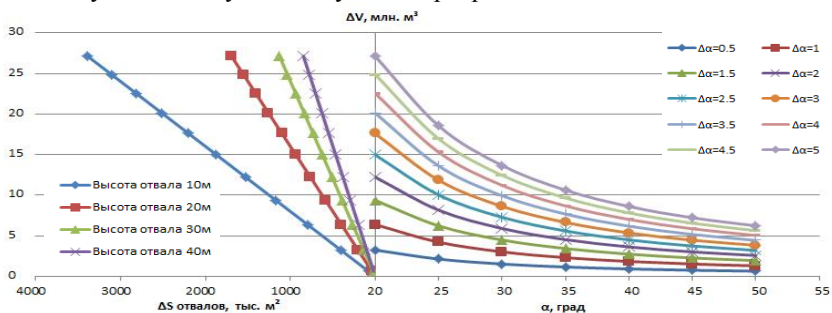


Рис. 2. Зависимость между изменением объема вскрыши ΔV для различных α и $\Delta\alpha$, а также подотвальных площадей (ΔS отвалов) при различной высоте отвала. Высота борта $H = 300$ м

Каждая линия правой части номограммы показывает изменение объема вскрыши ΔV для определенной величины $\Delta\alpha$. Левая часть номограммы позволяет графически найти изменение площади, занимаемой отвалами, в зависимости от объема ΔV . Например, фактически сформированный борт карьера имеет параметры: $H = 300$ м, $\alpha = 400$, а устойчивый угол откоса борта составляет 450 , таким образом, $\Delta\alpha = 50$. В соответствии с номограммой излишний объем вскрыши ΔV , на который предприятие затратит средства, в результате заниженного значения угла откоса борта на 50 , составит $8,6$ млн м³ на 1 км протяженности борта. Кроме того, занимаемая площадь для размещения этого объема в отвал высотой 20 м составит не менее 500 тыс. м².

Занижение угла на 10 ведет к росту объема вскрыши на $1,86$ млн м³ на 1 км протяженности борта карьера глубиной 300 м и проектном угле 40 град. При этом затраты на вскрышные работы составят более 236 млн руб., на отвод земель под отвалы – от 290 тыс. руб. Таким образом, предприятия, разрабатывающие месторождения открытым способом, могут нести значительные затраты на извлечение излишней вскрыши в результате заниженного значения угла откоса борта. В то же время

расходы денежных средств можно оптимизировать, вкладывая деньги на стадии подготовки исходных данных к проектированию в проведение дополнительных мероприятий по уточнению характеристик массива и параметров откосов бортов.

Выводы

1. Значения физико-механических свойств горных пород не только в образцах, но, самое главное, в массиве, т.е. в условиях всестороннего сжатия, в значительной мере предопределяют рациональные – наиболее экономичные и экологичные параметры карьеров.

2. Собственникам экономически выгодно создавать на предприятиях службы маркшейдерского и геодезического контроля, организовывать лаборатории, оснащённые современным оборудованием, по детальному изучению массива горных пород в районе ведения горных работ, тектонических нарушений, трещиноватости, гидрогеологических условий, сейсмического воздействия и т.д.

3. В настоящее время актуально развивать научные исследования по прогнозу прочностных свойств горных пород методами геоакустики, сейсморазведки, изучения электромагнитных полей и т.д.

Список литературы

1. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М.: Недра, 1965. 378 с.
2. Мельников И.Т. Аналитико-машинный метод оценки устойчивости бортов карьеров // Изв. вузов. Горный журнал. 1977. №5. С.41–44.
3. Мельников Т.И., Мельников И.Т. Нахождение критических центров поверхностей скольжения с минимальными коэффициентами устойчивости откосов. М.: Гидротехническое строительство, 1977. С.37–39.
4. Токмурзин О.Т. Определение предельной высоты плоских откосов в однородной среде // Изв. вузов. Горный журнал. 1978. № 5. С.18–21.
5. Фелениус В. Статика грунта. М.: Госстройиздат, 1933.
6. Хуан Я.Х. Устойчивость земляных откосов / пер. с англ. В.С. Забавин; под ред. В.Г. Мельника. М.: Стройиздат, 1988. 240 с.
7. Гордеев В.А. Сравнительный анализ расчётных поверхностей скольжения в однородных откосах // Маркшейдерское дело и геодезия: межвуз. сб. науч. трудов. СПб.: СПбГГИ, 1999. С. 17–21.
8. Определение ценности техногенных георесурсов / Гавришев С.Е., Заляднов В.Ю., Пыталев И.А., Павлова Е.В. и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. № 2. С.5–7.

П.С. Симонов, Д.А. Герасимов

ЛЕДОКОЛЬНЫЕ РАБОТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЗРЫВА

Разработана математическая модель расчета параметров буровзрывных работ при взрывании льда. Установлена зависимость для определения оптимальной глубины погружения заряда в воду, учитывающая соотношение цен на взрывчатые вещества и средства инициирования.

За последнее время произошли значительные изменения во взрывном деле: поменялся ассортимент ВВ, средств инициирования и др. Между тем методики расчета зарядов при взрывании льда используются 60-70 гг. XX века [1, 2].

Согласно [1, 2] параметры буровзрывных работ при взрывании льда определяются следующим образом:

Глубина погружения заряда в воду (W , м)

$$W = (2 \div 4) \cdot h,$$

где h – толщина льда, м.

Масса заряда (Q , кг)

$$Q = q \cdot W^3,$$

где q – удельный расход ВВ, кг/м³.

Диаметр майны (D_M , м) устанавливается по экспериментальным данным, представленным в табл. 1.

Таблица 1
Диаметр майны в зависимости от удельного расхода ВВ
и глубины погружения заряда в воду

q , кг/м ³	0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1	1,4	1,5
D_M/W	1	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	7,5

С уменьшением глубины погружения заряда в воду уменьшается расход ВВ, требуемый для взрывного дробления ледяного покрова. Например, при уменьшении величины W вдвое значение Q уменьшается в 8 раз, а диаметр получаемой майны – только в 2 раза (рис. 1), вследствие чего расход ВВ на 1 м диаметра майны сокращается в 4 раза (на 1 м² площади майны – вдвое).

Поэтому для экономии ВВ заряды следовало бы взрывать на небольшой глубине, тем более, что при этом уменьшается экологический ущерб окружающей среде (величина выброса загрязняющих веществ [3, 4] и радиус зоны поражения рыбы). Однако в этом случае увеличивается расход средств инициирования, а главное – возрастают трудоемкость и время проведения подготовительных и взрывных работ из-за необходи-

мости подготовки большого количества лунок и соответственно взрывания большого числа зарядов.

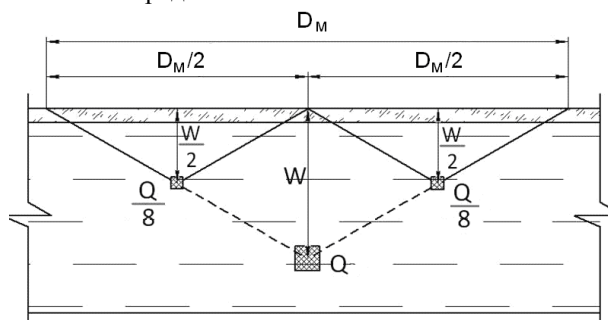


Рис. 1. Влияние глубины погружения заряда в воду на массу заряда и диаметр майны

Таким образом, необходимо определять оптимальную глубину погружения заряда в воду, отвечающую минимальной стоимости буровзрывных работ ($C_{\text{БВР}}$, руб./100 м²).

$$C_{\text{БВР}} = C_{\text{бур}} + C_{\text{ВВ}} + C_{\text{СИ}} \rightarrow \min ,$$

где $C_{\text{бур}}$, $C_{\text{ВВ}}$, $C_{\text{СИ}}$ – стоимость буровых работ, взрывчатых веществ и средств инициирования, руб./100 м².

Для оптимизации глубины погружения заряда разработана математическая модель, основные параметры которой представлены в табл. 2.

Таблица 2

Основные параметры математической модели БВР

Исходные данные	Расчетные параметры
Толщина льда, м	Масса заряда ВВ, кг
Расчетный удельный расход ВВ, кг/м ³	Диаметр майны, м
Глубина погружения заряда в воду, м	Расстояние между зарядами, м
Удельная цена ВВ, руб./кг	Количество зарядов ВВ на 100 м ² льда, шт./100 м ²
Удельная цена СИ, руб./м	Количество метров бурения на 100 м ² льда, м/100 м ²
Цена топлива, руб./л	Длина скважинной сети СИ, м
Стоимость мотоледобура, руб.	Длина поверхностной сети СИ, м
Ресурс мотоледобура, м	Общая длина СИ, м
Годовая зарплата бурильщика лунок, руб./год	Продолжительность вспомогательных операций при бурении, ч/м
Количество рабочих смен в году	Чистое время бурения, ч/м
Продолжительность рабочей смены, ч	Сменная производительность ледобура, м/см

Исходные данные	Расчетные параметры
Продолжительность подготовительно-заключительных операций, ч/см	Сменная зарплата бурильщика, руб./см
Продолжительность регламентированных перерывов, ч/см	Зарплата за 1 м бурения, руб./м
Техническая скорость бурения мотоледобура, м/мин	Начисления на зарплату за 1 м бурения, руб./м
Время на подготовку к бурению одной лунки, мин/лунка	Амортизация, руб./м
Очистка лунки от раздробленного льда, мин/лунка	Стоимость взрывчатых веществ, руб./100 м ²
Удельное время перехода к очередной лунке, мин/м	Стоимость средств инициирования, руб./100 м ²
Расход топлива, г/(кВт·ч)	Стоимость буровых работ, руб./100 м ²
Мощность ледобура, кВт	Общая стоимость буровзрывных работ, руб./100 м ²

Разработанная математическая модель позволяет исследовать влияние различных факторов на общую стоимость буровзрывных работ при взрывании льда и установить оптимальную глубину погружения заряда в воду (рис. 2).

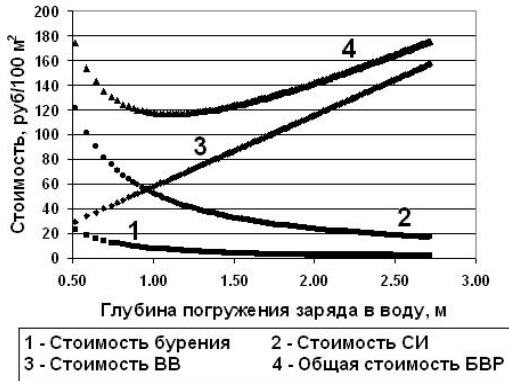


Рис. 2. Оптимизация стоимости буровзрывных работ

Кривые общей стоимости БВР в зависимости от глубины погружения заряда в воду аппроксимировались и исследовались на минимум по уравнению

$$C_{\text{БВР}} = A_4 W^4 + A_3 W^3 + A_2 W^2 + A_1 W + A_0,$$

где A_4, A_3, A_2, A_1, A_0 – коэффициенты.

В результате математического моделирования с различными наборами исходных данных установлено:

1. На общую стоимость буровзрывных работ при взрывании льда существенное влияние оказывают удельный расход ВВ, цены на взрывчатые вещества и средства инициирования. При существующем уровне техники, технологии и экономики толщина льда, цена топлива, стоимость ледобура и заработная плата мало влияют на оптимальную глубину погружения заряда в воду.

2. При проектировании параметров БВР для взрывания льда следует принимать максимально возможный проектный расход ВВ, равный $1,5 \text{ кг/м}^3$.

3. Оптимальная глубина погружения заряда определяется соотношением цен на ВВ и СИ и может быть определена по зависимости

$$W = A \cdot \left(\frac{\Pi_{\text{ВВ}}}{\Pi_{\text{СИ}}} \right)^{-v},$$

где $\Pi_{\text{ВВ}}$ – цена взрывчатых веществ, руб./кг; $\Pi_{\text{СИ}}$ – цена средств инициирования, руб./м; $A=(2,6 \div 3,6)$; $v=(0,3 \div 0,5)$ – коэффициенты.

Список литературы

1. Тавризов В.М. Ледокольные взрывные работы. М.: Недра, 1967. 143 с.
2. Нормативный справочник по буровзрывным работам / Ф.А. Авдеев, В.Л. Барон, Н.В. Гуров, В.Х. Кантор. М.: Недра, 1986. 511 с.
3. Симонов П.С. Определение способности ВВ к дымообразованию при взрыве // Взрывное дело. №107/64. М.: ЗАО «МВК по взрывному делу при АГН», 2012. С. 213–222.
4. Симонов П.С. Оценка выброса загрязняющих веществ при применении тротилсодержащих взрывчатых веществ на карьерах // Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии: сб. материалов V-й Междунар. науч.-практ. конференции: в 2 т. / под ред. А.И. Сидорова. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. Т.2. С. 89–91.

УДК 622.73/74.075.8

А.М. Цыгалов, Е.А. Чепчугов, Д.Р. Харрасов

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ МЕЛЬНИЦЫ ДОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ НА ПРИРОСТ РАСЧЕТНОГО КЛАССА КРУПНОСТИ

Произведен анализ скоростных режимов работы серийно выпускаемых барабанных мельниц с центральной разгрузкой, приведены результаты промышленных исследований по изучению влияния частоты вращения барабана мельницы МШЦ 2100х3000 на прирост готового класса крупности в ее сливе при работе в третьей стадии измельчения Бурибаевской обогатительной фабрики.

Основным параметром, определяющим механический режим мельницы, является угловая частота вращения барабана (n). Часто для универсальности вместо нее используют относительную величину в долях от критической частоты вращения ($n_{кр}$). За критическую частоту вращения барабана мельницы ($n_{кр}$) понимается такая частота, при которой начинают центрифугировать мелющие тела (шары) бесконечно малого размера, расположенные на внутренней поверхности барабана. В общем случае критическая частота вращения мельницы зависит от диаметра барабана мельницы и может быть определена как

$$n_{кр} = 30 / \sqrt{R} \text{ или } n_{кр} = 42,3 / \sqrt{D} , \quad (1)$$

где R и D – внутренний радиус или внутренний диаметр барабана мельницы, м.

Другим важным параметром механического режима является коэффициент заполнения барабана мельницы мелющими телами (φ):

$$\varphi = V_{из} / V_{м} , \quad (2)$$

где $V_{из}$ – объем загрузки мельницы мелющими телами, м³; $V_{м}$ – рабочий объем мельницы, м³.

В зависимости от значений критической частоты вращения мельницы и степени ее загрузки мелющими телами различают следующие скоростные режимы мельницы:

- каскадный режим с перекачиванием мелющих тел без их полета;
- смешанный, частично с перекачиванием и полетом тел;
- водопадный, преимущественно с полетом тел;
- режим махового колеса (центрифугирования).

Для мельниц с каскадным режимом работы после пуска внутримельничная загрузка поворачивается на предельный угол, близкий к углу естественного откоса. При этом в установившемся режиме вращения барабана компоненты загрузки переходят в режим движения по замкнутым траекториям. В центре сечения скорости движения частиц меньше. Режим характерен для пониженных частот вращения барабанов и применяется в основном для стержневых мельниц. Измельчение происходит в основном за счет раздавливания и истирания кусков измельчаемого материала.

При каскадном режиме работы мельниц, после подъема мелющих тел на определенную высоту, они отрываются от поверхности барабана и далее движутся в свободном полете по параболическим траекториям. Обычно этот режим используют для получения относительно грубого помола. Измельчение происходит в основном за счет удара и только частично за счет истирания и раздавливания.

В смешанном режиме часть загрузки имеет траекторию свободного полета, а часть – траекторию, характерную для каскадного режима. Дан-

ный режим используется в мельницах второй стадии измельчения, для получения сравнительно тонкого помола. Измельчение происходит как за счет удара, так и за счет истирания и раздавливания.

Известно, что истирающие нагрузки по сравнению с ударными являются наиболее эффективными при тонком измельчении материалов.

Выпускаемые в настоящее время шаровые мельницы (см. таблицу) не учитывают многостадийность существующих технологических схем измельчения-обогащения и режимы их работы оптимизированы преимущественно для грубого измельчения (I стадия процесса). Шары работают в смешанном режиме со значительной долей ударных нагрузок, что может являться причиной повышенного расхода энергии на измельчение.

Характеристики мельниц с центральной разгрузкой

Параметры	МШЦ	МШЦ	МШЦ	МШЦ
	2100x2200	2700x3600	3200x3100	3600x5000
Диаметр барабана мельницы	2100	2700	3200	3600
Частота вращения, об/мин	24,6	21	19,8	18,12
Высота гребня футеровки, мм	100	100	120	120
Критическая скорость вращения, об/мин	30,69	26,75	24,59	23,08
Относительная скорость вращения, д.ед.	0,80	0,78	0,81	0,79

Исследования по влиянию частоты вращения барабана мельницы на прирост расчетного класса крупности проводились в промышленных условиях на мельнице МШЦ-2100x3000, работающей в третьей стадии измельчения Бурибаевской фабрики. Паспортная частота вращения мельницы 24 об/мин, что соответствует относительной частоте (см. формулу (2) и таблицу) 0,78 д.ед. $n_{кр}$. Мельница загружена цельпесками размером 25x18, степень загрузки мельницы 42%.

Изменение частоты вращения барабана мельниц, а именно её снижение, достигалось за счёт установки в схему синхронного электродвигателя мельницы, преобразователя частоты типа SB-57-Н710 (6 кВ, 650 кВт, 64 А) производства НПП «Уралэлектра», г. Екатеринбург.

Для практических задач, решаемых в работе с помощью данного преобразователя, обеспечивалось изменение частоты переменного тока в пределах от стандартного значения, равного 50, до 36 Гц, что позволяло изменять частоту вращения барабанов мельниц МШЦ-2700x3600 от 24 об/мин (0,78 $n_{кр}$) до 13,0 об/мин (0,42 $n_{кр}$).

После проведения настройки частоты переменного тока производился замер частоты вращения барабана мельницы с помощью цифрового тахометра.

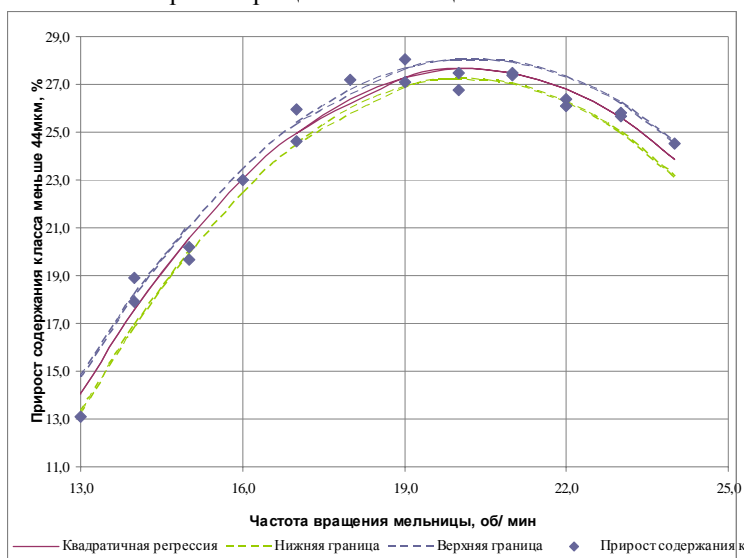
Через два часа работы мельницы в установленном режиме производился отбор проб питания мельницы (песков гидроциклонов) и слива

мельницы. После проведения опробования изменялась частота вращения мельницы, и вновь проводилось опробование.

Отобранные пробы высушивались до постоянного веса в сушильном шкафу. Из высушенных проб отбиралась навески массой 200 г, которые впоследствии размачивались в воде в течение часа и далее промывались на сите с размером ячейки 44 мкм. По разнице результатов промывки двух проб определялся прирост расчетного класса крупности.

При проведении исследований все иные параметры процесса измельчения и разделения руды были зафиксированы на постоянном уровне.

Анализ результатов проведенных исследований (см. рисунок) показал, что наибольший прирост расчетного класса крупности соответствует частоте вращения мельницы 20 об/мин, это соответствует значению 0,65 от критической скорости вращения мельницы.



Влияние скорости вращения мельницы на прирост расчетного класса крупности

Корреляционный анализ результатов исследований, проведенный с использованием таблиц EXCEL, позволил установить квадратичную зависимость между приростом расчетного класса крупности и частотой вращения мельницы, которая может быть описана уравнением вида

$$\Delta\beta_{-44}^{\text{РКК}} = 10,61n - 79,98n^2 - 0,26 \quad (3)$$

где $\Delta\beta_{-44}^{\text{РКК}}$ – прирост расчетного класса крупности, %; n – частота вращения мельницы, об/мин.

В соответствии с проведенным анализом коэффициент парной корреляции составил 0,76 при стандартной ошибке вычислений 0,149, это позволяет утверждать, что выявленная закономерность адекватна.

Таким образом, снижение частоты вращения мельницы до значения 20 об/мин приводит к увеличению прироста тонины помола по классу 44 мкм на 3,5% в абсолютных единицах и соответственно повышает удельную производительность мельницы. Кроме того, снижение частоты вращения мельницы должно привести к существенной экономии электроэнергии.

УДК 622.734

О.П. Шавакулева, Т.А. Васильева, Г.Д. Зобнин

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТИТАНОМАГНЕТИТОВОЙ РУДЫ*

Одним из перспективных направлений решения проблемы измельчения является применение реагента, который интенсифицирует процесс измельчения и последующее обогащение. Совершенствование процесса измельчения дает возможность вовлечь в переработку труднообогатимые руды, обогащение которых в настоящее время сопровождается существенными потерями ценных компонентов.

Одной из важных характеристик минеральных смесей является распределение минеральных частиц по крупности. Самый распространенный метод определения крупности состоит в расसेве материала на механических встряхивателях со стандартной шкалой сит и последующем измерении массы частиц выходов отдельных классов.

Наиболее полное и наглядное представление о распределении минералов по крупности дает характеристика крупности.

Объектом исследования стали титаномагнетитовые руды месторождения Тымлай. Сложность переработки титаномагнетитовых руд обусловлена содержанием ильменита и магнетита. Минералы тонковкрапленные, прорастают друг в друга, тем самым для их разделения необходимо более тонкое измельчение. На рис. 1 представлен пример титаномагнетитовой руды месторождения Тымлай.

На рис. 1 можно видно, что вкрапленность минералов магнетит и ильменит меньше 0,074 мм, что свидетельствует о необходимости более тонкого измельчения, которое позволит разделить их между собой.

* Выполнено при финансовой поддержке НИР 5.4376.2011 в рамках государственного задания.

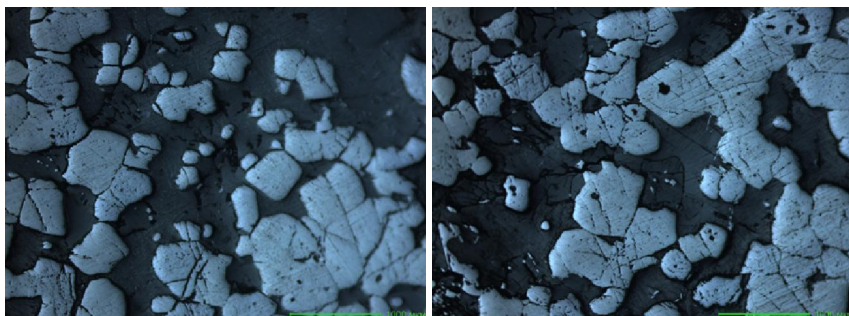


Рис.1. Титаномагнетитовая руда месторождения Тымлай
(светлый – ильменит, темный – магнетит)

Существует несколько версий для увеличения интенсификации процесса измельчения. Одной из таких версий является применение различных реагентов.

В исследовательской работе изучено влияние реагентов на гранулометрические характеристики измельченных смесей титаномагнетитовой руды.

На рис. 2 представлены сравнительные характеристики крупности измельченной титаномагнетитовой руды без реагента и с добавлением реагентов: олеат натрия, кальцинированная сода, жидкое стекло в количестве 500, 1500, 2000 г/т и триэтианоламин в количестве 50, 150 и 200 г/т.

По характеристике (см. рис. 2) крупности измельченной титаномагнетитовой руды без добавления реагента видно, что форма кривой прямолинейная, это свидетельствует о равномерном распределении зерен различной крупности.

Характеристики крупности измельченной титаномагнетитовой руды с добавлением реагентов имеют выпуклую форму, которая свидетельствует о преобладании в минеральной смеси более мелких частиц.

По полученным данным можно определить оптимальный расход реагента для добавления в процесс измельчения:

- олеат натрия – 2000 г/т, прирост класса менее 0,074 мм составил 4,78%;
- кальцинированная сода – 500 г/т, прирост класса менее 0,074 мм составил 9,91%;
- жидкое стекло – 2000 г/т, прирост класса менее 0,074 мм составил 7,89%;
- триэтианоламин – 200 г/т, прирост класса менее 0,074 мм составил 28,15%.

Наименьший прирост класса – менее 0,074 мм дает олеат натрия, а наибольший прирост – триэтианоламин.

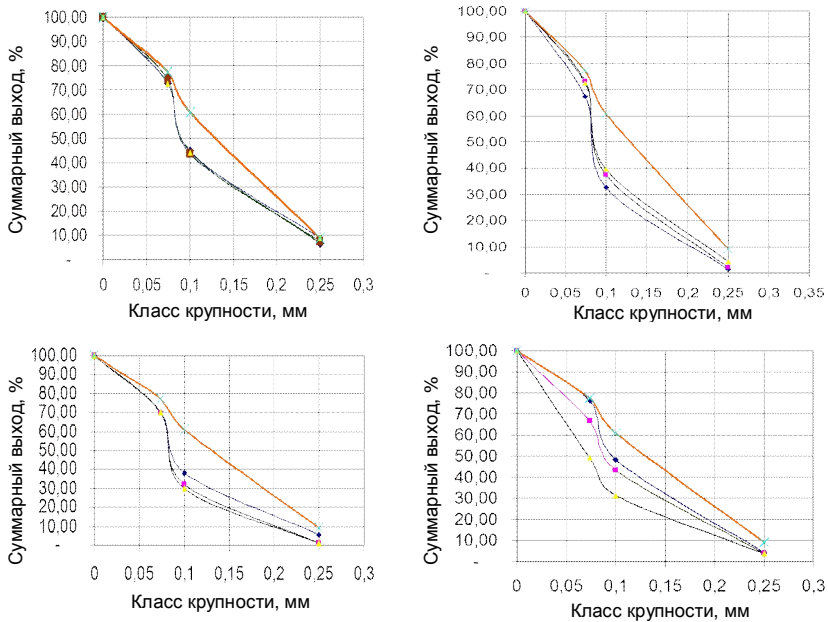


Рис. 2. Характеристики крупности измельченной титаномагнетитовой руды с добавлением реагентов:
 а – олеат натрия; б – кальцинированная сода;
 в – жидкое стекло; г – триэтаноламин

Применение реагентов позволяет повысить эффективность измельчения титаномагнетитовой руды, тем самым увеличить степень раскрываемости минералов. Комплексный подход к титаномагнетитовой руде и новые технологии позволяют эффективно вести разработку этого сложного вида минерального сырья, что поспособствует расширению сырьевой базы предприятий черной металлургии.

Список литературы

1. Шавакулева О.П., Гафаров Е.Х., Мусина А.Р. Изучение дробимости и измельчаемости титаномагнетитовых руд // Материалы 64-й науч.-техн. конф. по итогам науч.-исследовательских работ за 2004-2005 годы. Магнитогорск: МГТУ, 2005. Т.1. С.220–223.
2. Чижевский В.Б., Шавакулева О.П., Гмызина Н.В. Обогащение титаномагнетитовых руд Южного Урала // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №2(38). С. 5–7.
3. Интенсификация процесса измельчения титаномагнетитовой руды месторождения Тымлай / Шавакулева О.П., Чернов Д.В., Васильева Т.А., Зобнин Г.Д. //

- Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: материалы XVII Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2013. С. 69–70.
4. Чижевский В.Б., Шавакулева О.П. Обогащаемость различных типов титаномагнетитовых руд // Новые технологии обогащения и комплексной переработки труднообогатимого природного и техногенного минерального сырья (Плаксинские чтения 2011): материалы междунар. совещ. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2011. С. 529–531.

УДК 656.073

А.Н. Рахмангулов, Н.Е. Мохова

ПАРАМЕТРЫ И ПОКАЗАТЕЛИ ГРУЗОПОТОКОВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ВНЕШНИМИ ПЕРЕВОЗКАМИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Представлены основные параметры внешних грузопотоков машиностроительного предприятия, анализ которых необходим для принятия решений по обеспечению потребного качества (своевременности) транспортного обслуживания.

Особенностью внешних грузовых перевозок машиностроительных предприятий является сложность их структуры, характеризующаяся большим числом, как правило, маломощных струй, объем перевозок по которым находится в пределах от единиц до десятков тонн в сутки. Одновременно наблюдается высокая неравномерность перевозок разных наименований грузов, характеризующаяся коэффициентом неравномерности, значение которого превышает 1,6 и достигает величины 3,0 по отдельным грузопотокам [1–3].

Для компенсации высокой неравномерности грузопотоков машиностроительные предприятия вынуждены содержать постоянно увеличивающиеся по объему дополнительные запасы материалов и готовой продукции, что отрицательно сказывается на их финансово-экономическом состоянии.

Предлагается систему управления внешними перевозками машиностроительного предприятия формировать с использованием логистического подхода [5, 6, 8]. Такой подход предполагает рассмотрение грузопотоков как совокупности отдельных элементов – транспортно-грузовых партий, проведение мониторинга параметров и показателей грузопотоков, их анализ и принятие обоснованных решений об изменении размеров транспортно-грузовых партий и схем поставок [4, 5].

Параметры грузопотоков предлагается подразделять на две группы: физические и статистические параметры.

Физические параметры грузопотоков [10]:

- маршрут движения потока;
- длина маршрута;
- время движения потока T ;
- скорость и масса (количество) потока m (среднее (за расчетный период) количество элементов потока, находящихся в движении по маршруту);
- интенсивность потока – число элементов потока, проходящих через сечение канала (коммуникации) за единицу времени;
- мощность потока – произведение интенсивности потока на его скорость;
- количество движения потока – произведение массы потока на длину его маршрута;
- коэффициент дифференцируемости потока – отношение числа струй потока в конечном пункте маршрута к числу струй в начальном пункте.

Статистические параметры грузопотоков:

- средний интервал времени между элементами потока $\Delta t_{эл} = T/m$;
- коэффициент дискретности потока $k_{дискр} = \Delta t_{эл} / \Delta t_{мин}$, где $\Delta t_{мин}$ – минимальное, отличное от нуля, значение интервала между элементами потока, при котором поток считается непрерывным;
- коэффициент нерегулярности потока $k_{нерег} = n_{инт \neq \Delta t_{эл}} / (n-1)$, где $n_{инт \neq \Delta t_{эл}}$ – число отличных от среднего значения интервалов времени между n элементами потока за расчетный период времени;
- коэффициент неравномерности потока – отношение величины среднеквадратического отклонения интенсивности потока к математическому ожиданию интенсивности в течение расчетного периода;
- коэффициент периодичности потока – характеризует закономерности изменения массы (количества) потока. Исследование периодичности потоков рекомендуется осуществлять с использованием методов анализа временных рядов. Для мультипликативной модели временного ряда коэффициент периодичности потока рассчитывается по формуле

$$k_{пер}^{мульти} = \prod_{i=1}^n m_{рег} / m_{случ}, \text{ где } \prod_{i=1}^n m_{рег} - \text{произведение числа}$$

уровней регулярных составляющих временного ряда к числу уровней, принадлежащих случайной компоненте – $m_{случ}$. Для

$$\text{аддитивной модели } k_{пер}^{аддит} = \sum_{i=1}^n m_{рег} - m_{случ};$$

- коэффициент сложности потока – отношение числа струй потока, суммарное количество потока по которым составляет 20% от общего количества потока, к числу струй потока, на которые приходится 80% количества потока;
- коэффициент упорядоченности потока – отношение средневзвешенного по величине скорости числа струй потока, имеющих одинаковые скорости, к суммарному числу струй логистического потока;
- коэффициент управляемости материального потока – отношение количества информационного потока, элементами которого являются сообщения о качественно выполненных управленческих командах к числу информационно-управляющих сообщений. Количество (масса) информационного потока в простейшем случае рассчитывается аналогично массе материального потока. Для повышения точности расчетов рекомендуется при расчете количества информационного потока учитывать вероятность событий, о которых передаются сообщения.

Показатели грузопотоков:

- коэффициент нестабильности потока – отношение максимальной величины отклонения любого из параметров потока от значения на начало расчетного периода к его первоначальному значению;
- коэффициент ритмичности потока $k_{ритмич} = 1 - v_{Qn} / Q_{план}$,
где v_{Qn} – коэффициент вариации количества движения потока,
ка, $Q_{план}$ – плановое значение количества движения потока.

В результате анализа представленных параметров и показателей производится оптимизация размеров транспортно-грузовых партий, уровней страховых запасов на складах, схем доставки грузов. Данные расчеты рекомендуется производить с использованием комплекса методов и моделей, представленных, например, в работах [6, 7].

Реализацию логистического подхода к управлению внешними грузопотоками машиностроительного предприятия предлагается осуществлять в несколько этапов: на начальном этапе необходимо организовать регулярный учет и статистическое нормирование параметров внешних грузо-

потоков предприятия и сформировать систему их анализа для выработки управленческих решений экспертными методами; на следующем этапе рекомендуется разработать порядок построения и использования математических моделей оптимизации параметров грузопотоков и схем транспортировки сырья и готовой продукции; на окончательном этапе – организовать порядок накопления и хранения данных о внешних грузопотоках предприятия для решения задачи прогнозирования их параметров и корректировки стратегических планов предприятия [9].

Список литературы

1. Багинова В.В., Рахмангулов А.Н., Осинцев Н.А. Контроль вагонопотоков на пути необщего пользования // Мир транспорта. 2010. №3. С. 108–113.
2. Багинова В.В., Рахмангулов А.Н. Адаптивная организация вагонопотоков // Мир транспорта. 2011. №3. С. 132–138.
3. Осинцев Н.А., Рахмангулов А.Н. Оценка резервов пропускной и перерабатывающей способности технологических железнодорожных станций с использованием теории нечетких множеств // Вестник транспорта Поволжья. 2011. № 1. С. 45а–49.
4. Трофимов С.В., Рахмангулов А.Н., Корнилов С.Н. Методы развития систем промышленного железнодорожного транспорта в изменяющихся условиях деятельности предприятий: монография. Магнитогорск: МГТУ, 2004. 235 с.
5. Транспортная логистика: учеб. пособие / Рахмангулов А.Н., Трофимов С.В., Гавришев С.Е., Макаров А.М. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2000. 372 с.
6. Транспортная логистика: учеб. пособие / Гавришев С.Е., Дудкин Е.П., Корнилов С.Н., Рахмангулов А.Н., Трофимов С.В. СПб.: ПГУПС, 2003. 279 с.
7. Мохова Н.Е., Рахмангулов А.Н. Обеспечение своевременности грузовых перевозок машиностроительных предприятий // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2012». Вып. 3. Т. 1. Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. С. 8–15.
8. Осинцев Н.А., Рахмангулов А.Н. Управление вагонопотоками в промышленных транспортных системах // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №1. С.16–20.
9. Мохова Н.Е., Рахмангулов А.Н. Основные положения методики оценки и прогнозирования параметров внешних грузопотоков машиностроительных предприятий // Сборник научных трудов SWorld. Материалы междунар. науч.-практ. конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2012». Вып. 4. Т. 1. Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. С. 47–50.
10. Рахмангулов А.Н., Кайгородцев А.А. Факторы выбора мест размещения логистических распределительных центров // Сборник научных трудов SWorld. Материалы междунар. науч.-практ. конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2012». Вып. 4. Т. 1. Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. С. 27–36.

А.В. Швалёва

АНАЛИЗ МНОЖЕСТВЕННОЙ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ СТАЛИ ОТ МАССОВОЙ ДОЛИ ФОСФОРА И РАЗМЕРА ЛИСТОВОГО ПРОКАТА С345

Рассмотрена методика построения линейных множественных регрессионных моделей зависимости ударной вязкости (FDV) от массовой доли фосфора (P) и размера листа (H).

Статистические методы обработки данных стали широко используемым аппаратом при исследовании влияния химического состава, технологических параметров прокатки на механические свойства стали. Статистический контроль применяется для оценки таких показателей качества (механических свойств), как:

- предел текучести (FPT, напряжение, при котором начинает развиваться пластическая деформация);
- временное сопротивление (FVS или предел прочности – максимальное напряжение, предшествующее разрушению);
- относительное удлинение (FOYD – отношение приращенной в результате растяжения длины к первоначальной длине образца, выраженное в процентах);
- ударная вязкость (FDV – характеризует надежность материала, его способность сопротивляться хрупкому разрушению) и др.

Остановимся более подробно на одном из перечисленных показателей качества – ударной вязкости (FDV).

Производство листового широкополосного проката, предназначенного для строительных стальных конструкций со сварными и другими соединениями (С345) по ГОСТ 27772 [1] является одним из направлений работы ОАО «Уральская Сталь». Выборочная совокупность химического состава и результатов механических испытаний для характеристик растяжения и ударных свойств листовой стали марки С345 составлена из 64 партий-плавков, выплавленных с сентября 2012 года по февраль 2013 года. Объем выборки $n=366$.

Прежде чем применить метод множественного регрессионного анализа, необходимо определить статистические параметры: выборочное среднее, среднее квадратическое отклонение, необходимые для дальнейшего построения регрессионной модели (табл. 1). Расчеты были проведены с использованием возможностей программы Excel.

Множественный корреляционный анализ включает в себя:

- 1) установление внутрифакторных влияний;
- 2) определение чистого влияния каждого аргумента на функцию.

Таблица 1

Статистические параметры показателей качества,
химического состава и размера

Наименование	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее значение	Среднее квадратическое отклонение
Углерод, %	0,11	0,150	0,119	0,0058
Кремний, %	0,620	0,720	0,671	0,0234
Марганец, %	1,410	1,610	1,450	0,0220
Фосфор, %	0,006	0,015	0,010	0,0019
Размер, мм	16,000	50,000	27,358	8,5027
Ударная вязкость, %	27,000	335,000	152,068	49,3031

Произведем расчет зависимости ударной вязкости ($FDV=y$) от размера листа ($H=x_1$) и массовой доли фосфора ($P=x_2$).

В простейшем случае, считая связь между признаками линейной, выборочное уравнение связи будет иметь вид

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + b.$$

Возникают следующие задачи:

- определение коэффициентов регрессии a_1 , a_2 , а также свободного слагаемого b ;
- оценка тесноты связи между функцией y и признаками x_1 , x_2 ;
- оценка тесноты связи между функцией y и x_1 при постоянном x_2 ;
- оценка тесноты связи между функцией y и x_2 при постоянном x_1 .

Для установления внутрифакторного влияния рассчитываются коэффициенты корреляции (r_{ij}) между аргументами и составляется матрица коэффициентов парной корреляции (табл. 2). Эти коэффициенты отражают статистическую связь между аргументами, физического смысла не имеют, однако без учета этой связи можно исказить влияние каждого аргумента на функцию.

Таблица 2

Матрица коэффициентов парной корреляции

	FDV	$RAZM$	C	Si	Mn	P
FDV	1,000	-0,330	0,120	-0,032	-0,060	0,143
$RAZM$	-0,330	1,000	0,005	-0,087	-0,078	-0,131
C	0,120	0,005	1,000	0,033	0,036	-0,355
Si	-0,032	-0,087	0,033	1,000	0,307	-0,040
Mn	-0,060	-0,078	0,036	0,307	1,000	0,210
P	0,143	-0,131	-0,355	-0,040	0,210	1,000

Качество построенной модели в целом оценивает коэффициент (индекс) детерминации, который рассчитывается как квадрат коэффициента множественной корреляции: $R^2 = 0,119$. Зависимость y от x_1, x_2 характеризуется как недостаточно тесная, в которой 12% вариации ударной вязкости определяется вариацией учтенных в модели факторов: размера листа и массовой доли фосфора. Прочие факторы, не включенные в модель, составляют 88% от общей вариации y .

Для характеристики относительной силы влияния аргументов x_1, x_2 на y можно рассчитать средние коэффициенты эластичности:

$$K_{эyx_i} = a_i \cdot \frac{x_i}{y}$$

В нашей модели коэффициенты эластичности:

$$K_{эyx_1} = -1,836 \cdot \frac{27,358}{152,068} = -0,3303;$$

$$K_{эyx_2} = 2634,13 \cdot \frac{0,01}{152,068} = 0,1732.$$

Вывод

С увеличением размера листа на 1% от его среднего уровня ударная вязкость снизится на 0,33% от своего среднего уровня; при повышении средней массовой доли фосфора на 1% ударная вязкость возрастает на 0,17% от своего среднего значения.

Были получены математические модели зависимости ударной вязкости от массовой доли Р и С; ударной вязкости от массовой доли С, Р и размера листа Н (табл. 3):

Таблица 3

Математические модели зависимости ударной вязкости от массовой доли химических элементов и размера листа

	<i>Уравнение регрессии</i>	<i>R</i>
1	$FDV = -1,914H + 1020,849C + 82,745$	0,351
2	$FDV = -1,789H + 1520,142C + 4300,082P - 23,783$	0,384

Список литературы

- ГОСТ 27772. Прокат для строительных стальных конструкций.
- Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов. Изд. 7-е, стереотип. М.: Высш.шк., 2001. 479 с.
- Калинина В.Н., Панкин В.Ф. Математическая статистика: учебник для студ. сред. спец. учеб. заведений. 3-е изд., испр. М.: Высш.шк., 2001. 336 с.
- Изаак Д.Д., Швалёва А.В. Математическая статистика: лабораторный практикум. Орск: Орский гуманитарно-технологический институт (филиал) ОГУ, 2012. 51 с.

ХИМИКО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

УДК 669.1(09)

В.А. Бигеев, В.Н. Селиванов, В.Г. Дружков

КАФЕДРЕ МЕТАЛЛУРГИИ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ МГТУ 75 ЛЕТ

Сделан исторический экскурс развития кафедры металлургии черных металлов. В настоящее время она представляет собой объединение двух кафедр: металлургии стали и металлургии чугуна. Приведены основные образовательные и научные направления, реализуемые на кафедре. За всю историю кафедры она выпустила почти 4000 специалистов, отмечены наиболее успешные из них. Приведена перспектива.

История одной из старейших в нашем вузе кафедр металлургии черных металлов на самом деле складывается из историй двух кафедр: металлургии стали и металлургии чугуна.

В сентябре 1937 г. в числе первых выпускающих кафедр Магнитогорского горно-металлургического института (МГМИ) была организована кафедра металлургии стали. Организатором кафедры был доцент Алексей Андреевич Безденежных, прибывший незадолго до этого в Магнитогорск из Ленинградского политехнического института вместе с доцентами М.И.Бояршиновым (основатель и многолетний заведующий кафедрой ОМД) и А.Н.Заморуевым (основатель кафедры МиТОМ).. Позднее в течение многих лет А. А. Безденежных, наряду с заведованием кафедрой, был директором МГМИ. В конце 1937 г. в МГМИ состоялся первый выпуск инженеров, в числе которых было пять выпускников кафедры металлургии стали: Л.А. Волков, Н.В. Заверюха, О.С. Меженный, Г.П. Перк и П.К. Щербинин.

Вторым заведующим кафедрой металлургии стали (с 1958 по 1989 гг.) стал ее выпускник 1941 года – профессор А.М.Бигеев. В 1989 году эту кафедру возглавил выпускник 1958 года – доцент В.Н.Селиванов.

Кафедра металлургии чугуна была создана в ноябре 1941 года по инициативе эвакуированных в Магнитогорск преподавателей-доменщиков Днепропетровского металлургического института. Первыми заведующими были профессора А.Н. Похвистнев (1941–42 гг.) и А.Д. Готлиб (1942–43 гг.). Начатое дело продолжили проф.а А.М.Баннных (1943–1962 гг.), М.А.Стефанович (1962–1985 гг.), Н.Н.Бабарыкин (1985–1990 гг.) и доцент В.Г.Дружков (1990–1994). В 1944 году в МГМИ состоялся первый выпуск инженеров-доменщиков: Певцов В.П., Ткаченко А.И., Макаров Н.И., а в 1946 – выпуск первого набора 1942: Власов А.Г., Байкина Н.Г., Макоткина Н.

Коллектив кафедры металлургии черных металлов всегда жил едиными интересами со страной, городом, Магнитогорским металлургическим комбинатом. В годы Великой Отечественной войны преподаватели кафедры принимали активное участие в работе легендарного броневое бюро ММК, а многие выпускники кафедры с оружием в руках защищали нашу Родину. В послевоенные годы кафедра принимала участие в восстановлении и развитии отечественной металлургии.

В 50-е годы прошлого века сформировалось основное научное направление кафедры металлургии стали – развитие технологий и оборудования сталеплавильного производства на основе математического описания технологических процессов. Основателем и руководителем этого направления был профессор А.М. Бигеев. В работе принимали участие практически все преподаватели и научные сотрудники кафедры металлургии стали, что дает основание говорить о научной школе профессора А.М. Бигеева. Возникновению научной школы профессора А.М. Бигеева способствовало открытие при кафедре металлургии стали в 1958 г. аспирантуры, а в 1995 г. – докторантуры.

Большую роль в развитии кафедры металлургии стали сыграла также организация в 1970 г. Отраслевой лаборатории сталеплавильного производства. В эту лабораторию приходили молодые выпускники кафедры, проявившие склонность к научной работе, включались в проведение научных исследований, защищали кандидатские диссертации, а в дальнейшем входили в профессорско-преподавательский состав кафедры. В настоящее время именно они составляют основу кафедры.

К наиболее значимым исследованиям, выполненным на кафедре металлургии стали, следует отнести работы по совершенствованию технологий выплавки стали в мартеновских печах, двухванных агрегатах, кислородных конвертерах и современных электродуговых печах; ковшевой обработки стали на агрегатах «ковш-печь» и вакууматорах; разливки непрерывной и в слитки; переработки техногенных отходов металлургического производства и ряд других. В современных условиях научные исследования, проводимые сотрудниками кафедры в течение многих лет, дали возможность создать и внедрить в учебный процесс несколько компьютерных имитаторов-тренажеров сталеплавильных процессов. Без ложной скромности можно заметить, что в этом вопросе кафедра лидирует в системе отечественного металлургического образования: подобных средств нет ни у одной металлургической кафедры других вузов России.

Активная работа руководства кафедры металлургии стали по подготовке научных и педагогических кадров высшей квалификации позволила создать в МГМИ на её базе новую кафедру – кафедру электрометаллургии и литейного производства и приступить к подготовке инженерно-литейщиков. За четыре десятилетия своего существования кафедра электрометаллургии и литейного производства существенно укрепилась и

стала в настоящее время одним из ведущих учебных подразделений университета. Среди выпускников первого набора студ.ов-литейщиков – ректор МГТУ В.М.Колокольцев.

Кафедре металлургии чугуна тоже есть чем гордиться в научной сфере. Совместно с работниками крупнейших металлургических предприятий и научно-исследовательских институтов выполнены весьма интересные исследования. Среди них – разработка технологии производства и проплавки офлюсованного агломерата и окатышей; освоение комбинированного дутья; движения материалов и газов в доменных печах. Общеизвестны достижения кафедры в области изучения газодинамики, особенностей неустановившихся и переходных состояний доменной плавки; определения числа выпусков; расчета профиля доменной печи и количества воздушных фурм; разработке принципа выбора комплекса технологических средств для организации доменного процесса.

В 1994 году решением ученого совета нашего вуза кафедры металлургии чугуна и металлургии стали были объединены в кафедру металлургии черных металлов (МЧМ), ее возглавил В.Н.Селиванов. В 2009 году на этом посту его сменил профессор В.А.Бигеев.

Объединение кафедр было связано с переходом отечественной высшей школы на новую систему подготовки специалистов. В рамках реализации этой системы кафедрой МЧМ в 2003 г. был осуществлен первый набор бакалавров, а в 2008 г. – магистров по направлению «Металлургия». В июне 2007 г. на кафедре состоялся выпуск первых семи бакалавров. Первые магистры защитили выпускные работы – магистерские диссертации – в 2010 г. Всего за эти годы кафедра выпустила 50 бакалавров и 20 магистров по направлению «Металлургия».

Первые годы подготовка бакалавров и магистров велась параллельно с подготовкой инженеров. Начиная с 2011 г. прием в университет для обучения с получением квалификации инженер-металлург полностью прекращен. Последний выпуск инженеров-металлургов дневной формы обучения состоится в 2015 г., а заочной – в 2016 г. Сейчас выпускники общеобразовательных школ и средних специальных учебных заведений поступают для обучения с получением квалификации бакалавр по направлению «Металлургия». Их обучение ведется по образовательным стандартам третьего поколения, предусматривающими углубленную специальную подготовку. Достаточно указать, что на изучение дисциплин специализации этими стандартами отводится почти в два раза больше учебного времени, чем действующими пока стандартами на подготовку инженеров. Расширение и углубление специальной подготовки бакалавров производится за счет некоторого уменьшения объема ряда дисциплин общих циклов путем исключения из них разделов, материалы которых оказались невостребованными в профессиональной деятельности специалистов.

Всего за 75 лет в МГМИ было подготовлено почти 4 тысяч дипломированных инженеров-доменщиков (1300 чел.) и сталеплавильщиков (2430 чел.). Среди них много известных специалистов, руководителей отечественной металлургической промышленности, крупнейших металлургических заводов, научно-исследовательских институтов: Г.Е. Овчинников, И.Х. Ромазан, Д.Г. Носов, К.Г. Носов, С.К. Носов, В.Г. Некрасов, В.С. Федосеев, Р.С.Тахаутдинов, О.В. Федонин, А.Л.Маструев, Ю.А.Бодяев и др. Выпускники кафедры составляют основу инженерного корпуса металлургического производства ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Многие выпускники кафедры отмечены высокими наградами СССР и Российской Федерации. Следует отметить подготовку специалистов вечерней и заочной формы обучения. Многие руководители производства прошли именно через эту форму обучения.

Интересно, что часть выпускников кафедры успешно реализовала себя не только в металлургической сфере. Председателями Законодательного собрания г. Магнитогорска были Ф.А.Мухаметзянов и М.Ф.Сафронов, главой г. Нижний Тагил является С.К.Носов, заместителем главы г. Магнитогорска был Г.В.Монетов, директором Магнитогорского отделения Сбербанка РФ – В.Н.Котий, вице-президентом ХК «Металлург» является Г.И.Величкин, одним из сильнейших альпинистов РФ Г.Кириевский и др.

Выпускники кафедры составляют основу инженерного корпуса металлургического производства ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Многие выпускники кафедры отмечены высокими наградами СССР и Российской Федерации.

Выпускники кафедры достигли значительных успехов в научной и педагогической деятельности. Докторами наук, профессорами стали А.М. Бигеев, В.Г. Антипин, Ю.В.Федулов, Н.П. Сысоев, К.Н. Вдовин, В.А. Бигеев, С.К. Носов, Р.С.Тахаутдинов, А.М. Столяров, С.К. Сibaгатуллин, Е.Н. Ишметьев, В.Н. Немцев.

В настоящее время основные усилия коллектива кафедры металлургии черных металлов направлены на подготовку высококвалифицированных специалистов, способных решать сложные вопросы металлургического производства в условиях наметившегося с последние годы значительного подъема отечественной промышленности и реформирования высшей школы.

Свой 75-летний юбилей кафедра металлургии черных металлов МГТУ встречает с оптимизмом, с ощущением несомненных позитивных сдвигов в жизни нашего государства, города, университета и делает все возможное для успешного решения стоящих перед нашим обществом задач.

С.К. Носов, В.А. Бигеев

ИСТОРИЯ БРОНЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА НА МАГНИТОГОРСКОМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ КОМБИНАТЕ

Освоение производства броневой стали на Магнитогорском металлургическом комбинате в 1941–42 гг. явилось ярким достижением отечественной металлургии и советской промышленности в целом. В ходе освоения была разработана уникальная технология броневой стали монопроцессом в большегрузной основной мартеновской печи, ее разливки стали сверху в изложницы через промежуточный ковш и другие. Эти технологии достигли совершенства в 50–70-х гг. прошлого века. Принципиальным моментом стал перевод производства стали из мартеновского в кислородно-конвертерный цех. Здесь заново были проведены большие исследовательские и внедренческие работы. Опыт производства броневой стали помог в освоении технологий выплавки, доводки и разливки современных сталей повышенной прочности класса Х60–Х80.

В старину под броней понимали металлическую одежду, защищавшую туловище воина. В современном понимании – это прочная защитная облицовка или цельный корпус из стали повышенной прочности и ударной вязкости. Эти свойства броневых сталей обеспечиваются: во-первых, оптимальными содержаниями углерода, хрома, никеля и молибдена; во-вторых, особыми режимами прокатки и термической обработки броневых листов. Броня применяется на танках, военных судах и других видах боевой техники.

В России производство броневой стали началось в конце XIX века на Балтийском и Ижорском заводах в Санкт-Петербурге. В 20-х годах XX века броневую сталь также начали производить в Украине, прежде всего в Мариуполе. На Магнитогорском металлургическом комбинате до начала Великой Отечественной войны (ВОВ) производили только стали массового назначения, с технологией выплавки броневой стали и производством проката из нее не были знакомы.

Все круто изменилось с началом ВОВ. Одним из первых своих приказов в конце июня 1941 года Государственный Комитет Обороны потребовал от металлургов Урала и Сибири организовать производство броневых металлов для танкостроительной промышленности. Металлургические предприятия центра страны и Поволжья для производства броневых металлов не рассматривались из-за потенциальной опасности приближения линии фронта. Важнейшая роль в выполнении этого задания отводилась Магнитогорскому металлургическому комбинату. Это предприятие имело лучшую железорудную базу в стране (месторождение г. Магнитной), на нем строились и запускались новые производственные мощности, относительно недалеко – в Челябинске и Нижнем Тагиле решили создать производство бронетехники.

По распоряжению директора комбината Григория Ивановича Носова было создано специальное бронebюро, костяком которого стали коман-

дированные наркоматом черной металлургии СССР ленинградские специалисты: Евгений Ефимович Левин, Семен Израилевич Сахин, Николай Николаевич Родионов и ряд других. В него также вошли приехавшие в довоенные годы из Ленинградского политехнического института на работу в Магнитогорский горно-металлургический институт заведующий кафедрой металлургии стали Алексей Андреевич Безденежных и заведующий кафедрой обработки металлов давлением Михаил Иванович Бояршинов. Активно включились в работу и специалисты комбината: Кристиан Крищьянович Нейланд, Николай Михайлович Селиванов, Владимир Федорович Агапов, Николай Александрович Соколов, Алексей Григорьевич Трифонов и другие. Официальным руководителем бронебюро был назначен Е.И.Левин, но фактически его работу возглавил сам Г.И.Носов.

До войны на заводах СССР броневую сталь варили дуплекс-процессом в мартеновских печах небольшой вместимости. Других вариантов технологий не было. Предстояло освоить эту сложную технологию в крупных (по тем временам) 190-тонных мартеновских печах.

Первые опыты по освоению технологии выплавки броневой стали на Магнитогорском металлургическом комбинате относятся к июлю 1941 года. Начинали дуплекс-процесс в мартеновском цехе №2 (первую выплавку осуществили 23 июля 1941 года сталевар Дмитрий Жуков и мастер Егор Сазонов): в основной 190 т печи №1 готовили жидкий полупродукт с содержанием серы менее 0,020% и фосфора менее 0,015%, переливали его в кислую печь №3, где доводили кремневосстановительным процессом (раскисляли и легировали) до требуемого химического состава. Кроме того, завершение плавки под кислым шлаком позволяло минимизировать содержание неметаллических включений и газов в стали. По схожей технологии дуплекс-процессом выплавляли легированные марки стали (прежде всего шарикоподшипниковые) на Надеждинском (Серовском) металлургическом заводе. В августе 1941 года на кислую футеровку была переделана и мартеновская печь №4.

Наибольшую сложность при выплавке броневой стали представляло легирование хромом, подача больших порций феррохрома вызывала резкое загущение шлака, куски феррохрома буквально «вмерзали» в шлак. Приходилось вручную стальными шомполами перемешивать шлак и верхние слои металла. Поэтому в довоенные годы выплавку броневой стали вели в мартеновских печах небольшой вместимости. Общее время выплавки дуплекс-процессом в условиях ММК составляло около 20 часов. Кроме того, по воспоминаниям Абдрашита Мусеевича Бигеева, работавшего в этом цехе в 1941–42 гг., после выпуска плавки в подине кислой печи оставались такие глубокие ямы, что заправка печи требовала еще 6–8 часов. Таким образом, традиционный дуплекс-процесс никак не мог обеспечить все возрастающей потребности в броневой стали. При этом печи с кислой футеровкой не могли использоваться для выплавки других марок стали, таким образом, снижалась фактическая мощность

мартеновского цеха. Под угрозой срыва оказалось выполнение второго важнейшего оборонного заказа – производства снарядной стали.

Новым этапом в процессе освоения броневой металла стал переход в сентябре 1941 года на монопроцесс сначала в 190-тонных основных мартеновских печах мартеновского цеха №3, а затем в 350-тонных мартеновского цеха №2 [1-3]. Инициатором этого революционного шага стал Г.И.Носов. Шихтовка плавки отличалась высоким расходом жидкого чугуна (65–70%), применением только оборотного или хромоникелевого лома. По ходу плавки тщательно соблюдали шлаковый режим, строго синхронизировали нагрев ванны и обезуглероживание металла, предварительное раскисление осуществляли высококачественным ферромарганцем, легирование хромом начинали только по достижению температуры ванны не менее 1570°C. Обязательным было выполнение регламентов при проведении периодов «рудного» и «чистого» кипения. Кроме того, были внедрены обязательная предварительная прокатка ферросплавов и разливка стали через промежуточный ковш (альтернатива сифонной разливке, обычно применявшейся на других заводах при производстве броневой стали). Состав изложниц после разливки выдерживался без движения возле разливочной площадки до полной кристаллизации стали, и броневые слитки не «раздевали» дольше обычных. С ноября 1941 года выплавку броневых сталей полностью перенесли в мартеновский цех №3, где ее производили в течение тридцати лет. Если в 1941 году на ММК было выплавлено 60,5 тыс. т броневой стали, то в 1944 году – 330 тыс.т (около 10% стали от общего производства стали в ОАО «ММК»). В 1972 году, в связи с необходимостью увеличения на комбинате производства стали, выплавка броневых металлов была передана в мартеновский цех №1 на 280-тонные печи №26 и 27 с сохранением в абсолютно неизменном виде основных положений технологии, разработанной в 1940-х годах [4–7].

Если бы к концу 1941 года не началось масштабного производства броневых листов на ММК, то и не началось бы массового производства бронетехники на Урале в 1942 году. Наряду с освоением выплавки броневой стали следует отметить освоение прокатки броневых листов с 28 июля 1941 года впервые в мировой практике на блюминге №3. Это позволило выиграть время и построить дополнительные пролеты адьюстажа сортопрокатного цеха, а с октября 1941 года начать производство броневых листов на перевезенном из Мариуполя и смонтированном, по существу в новом цехе, толстолистовом стане «4500». Кроме того, там было построено новое термическое отделение. Первоначально планировалось Мариупольский стан установить в августе 1941 года в фасонно-литейном цехе, что вряд ли бы обеспечило его нормальную работу и уж точно парализовало бы литейное производство.

Следует отметить еще одно достижение металлургов Магнитки в этот период – организацию отливки башен для танков «КВ» в фасонно-

литейном цехе комбината. Здесь удачно адаптировали уже освоенную технологию выплавки броневой стали в больших печах для условий 25-тонных мартеновских печей литейного цеха.

В начале двадцать первого века связи с реконструкцией мартеновского цеха №1 в электросталеплавильный и выводом из эксплуатации мартеновских печей №26 и 27, возникла острая необходимость разработки технологии производства броневой стали в конвертерном цехе ОАО «ММК». Кислородно-конвертерное производство принципиально отличается от мартеновского. В РФ и странах ближнего зарубежья такого опыта не было. Из-за специфичного назначения броневого металла были крайне скудные сведения об опыте Германии, Японии, США и других стран. Поэтому для решения этой масштабной задачи силами работников Магнитогорского металлургического комбината была проведена большая исследовательская работа.

Разработанная и внедренная в кислородно-конвертерном цехе ОАО «ММК» технология производства хромоникельмолибденовой стали использует практически все возможности этого современного цеха и включает в себя [8,9]: десульфурацию чугуна магнием в заливочном ковше с обязательным скачиванием шлака, продувку металла в конвертере с промежуточным скачиванием шлака, присадку всех раскислителей и легирующих в ковш на выпуске с обязательным прокаливанием феррохрома до температуры 250–300°C, обработку металла на установке ковш-печь и вакуумирование, разливку на слябовой машине литья заготовок и замедленное охлаждение слябов в термосах.

Для обеспечения концентрации серы в готовом металле менее 0,010% выполняется комплекс мер, включающий десульфурацию чугуна с расходом гранулированного магния 0,9–1,0 кг/т, подбор и применение оборотного стального лома и обеспечение расхода извести в конвертер в среднем 86,5 кг/т, обеспечивающих содержание серы в металле на повалке не более 0,015%. Кроме того, проводится ковшевая десульфурация со средними расходами: в ковш на выпуске – извести – 5,7 кг/т, плавикового шпата – 1,4 кг/т, алюминия – 0,1 кг/т и на агрегате «ковш-печь» – извести – 5,2 кг/т, плавикового шпата – 1,4 кг/т и алюминия 1,2 кг/т.

Для обеспечения содержания фосфора в готовой стали не более 0,015% осуществляют промежуточное скачивание шлака из конвертера после израсходования 5,6–7,6 тыс. м³ кислорода, с тем чтобы в металле на повалке содержание фосфора не превышало 0,010%.

Водород, содержащийся в стали, склонен к выделению в твердом металле с образованием внутренних пузырей – флокенов. Для броневой стали это чревато уменьшением прочности изделий. С целью уменьшения насыщения стали водородом ферросплавы прокаливаются в стационарных печах и их температура в расходном бункере колеблется от 250 до 300°C при изменении продолжительности нагрева от 20 до 25 мин соответственно.

Обязательной операцией является ковшевое циркуляционное вакуумирование, обеспечивающее содержание водорода в металле в конце вакуумирования менее 2,5 р.р.м.

Применен способ замедленного охлаждения слябов хромоникельмолибденовой стали в «термосе», переоборудованном из копильника МНЛЗ. Замедленное охлаждение литых слябов в «термосе» до температуры 100°С позволяет избежать образования флокенов и грубых термических трещин и обеспечить в готовом металле содержание водорода на 30% меньше, чем при охлаждении в плотном штабеле. Продолжительность охлаждения слябов до 100°С в «термосе» в летних условиях увеличивается по сравнению с продолжительностью охлаждения слябов в зимних условиях примерно на 50% из-за более высокой температуры воздуха.

С 2009 года успешно опробованы отливка слябов броневой стали толщиной 300 мм и прокатка на новом стане «5000». Опыт производства броневой стали использован при освоении сталей повышенной прочности К60 и К65 для магистральных газопроводов. Совершенствование этой технологии продолжается.

УДК 669.1 (09)

**А.Е. Букреев, И.Р. Манашев, К.Р. Шаймарданов,
Е.А. Щеголева, Е.П. Хренова**

ДОСТИЖЕНИЯ ИННОВАЦИОННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ООО «НТПФ «ЭТАЛОН» ЗА ЧЕТВЕРТЬ ВЕКА

Статья посвящена деятельности Научно-технической производственной фирмы «Эталон». Выполнен обзор исторического развития фирмы. Рассмотрены основные направления деятельности предприятия. Приведены успехи и достижения за всю историю развития Научно-технической производственной фирмы «Эталон».

О четверти века говорится не случайно, ведь активная деятельность фирмы началась 25 лет назад в 1988 году. Тогда небольшой коллектив изобретателей, возглавляемый выпускником кафедры металлургии черных металлов МГМИ Игорем Михайловичем Шатохиным, начал реализацию своих научно-технических идей, воплощая их в реальные устройства и технологии. Еще в 1989 году, в эпоху Советского союза, был получен патент на товарный знак Эталон, который и по сей день используется как основной логотип компании.

Первое десятилетие для ООО «НТПФ «Эталон» – это творческий всплеск, проявленный в разработке и патентовании десятка технологий и устройств для интенсификации металлургических процессов. Дальнейшим мощнейшим рывком в развитии фирмы послужило создание в конце

90-х собственной производственной базы. Всего за несколько лет на пустующей территории западного района города Магнитогорска появилась полноценная инфраструктура для производства наукоемкой продукции. За короткий промежуток времени был освоен выпуск технологических фурм для сталеплавильных и доменных производств, горелок различного типа, элементов газоочисток металлургических агрегатов и прочего нестандартизированного оборудования. Также было отлажено производство минеральной воды «Эталонная» с лечебными свойствами и отличными вкусовыми качествами, добываемой из уникального подземного источника на территории ООО «НТПФ «Эталон».

За успешное внедрение металлургических устройств в условиях ММК коллектив ООО «НТПФ «Эталон» был награжден премией правительства РФ, а чуть позже Игорь Михайлович Шатохин стал победителем регионального конкурса «Изобретатель Южного Урала».

Двухтысячные годы ознаменовались активным техническим перевооружением металлургической отрасли России, обновлением фондов металлургических компаний. Увеличилась доля импортного оборудования, возросли требования заказчиков к качеству. Учитывая данные обстоятельства, в ООО «НТПФ «Эталон» большое внимание уделялось подбору квалифицированного персонала (многие выпускники кафедры МЧМ МГТУ), а также вводу в строй высокотехнологичного металлообрабатывающего оборудования (установки гидроабразивной и плазменной резки, станки с ЧПУ и сварочные автоматы и пр.).

Кроме того, на предприятии активно развивалось проектно-конструкторское бюро – внедрялась инновационная система трехмерного твердотельного моделирования, моделирования газовых и газодинамических процессов. Фирма успешно прошла сертификацию на соответствие международным стандартам в области качества, охраны труда и экологии.

В результате был освоен выпуск линейки уникальных устройств, которые уверенно выдерживают конкуренцию не только с российскими, но и зарубежными аналогами. Например, кессоны и горелки марки «Эталон» для современных ДСП показали свою технико-экономическую эффективность уже более чем на десяти металлургических заводах России (ОАО «ММК», ОАО «НЛМК», УГМК и т.д.), где уже более пяти лет применяются на постоянной основе.

В 2005 году наступает новая эпоха в научно-технической и производственной деятельности ООО «НТПФ «Эталон». Исследовательскому коллективу фирмы удалось провести азотирование ферросилиция в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Примечательно, что опытная установка (реактор СВС), работающая в экстремальных условиях при температуре свыше 2000°C и способная выдерживать давление свыше 100 атм, спроектирована и изготовлена собственными силами, а полученные образцы нового продукта имеют ряд преимуществ по сравнению с печными аналогами. Дан старт новому направлению – созданию производства композиционных материалов методом СВС. В 2006 году

введена в строй первая очередь участка СВС, оснащенная реакторами повышенной вместимости, освоено производство азотированных лигатур на основе нитридов кремния, ванадия, хрома, марганца для выплавки трансформаторных, рельсовых, жаростойких, коррозионностойких сталей, а также сталей и сплавов специального назначения. Осваивались и другие тугоплавкие композиции, на основе которых создаются огнеупорные материалы нового поколения, специальная керамика.

Инновационные СВС-материалы нашли применение практически на всех крупных металлургических предприятиях России: ММК, НЛМК, НТМК, на заводах специальной металлургии, на предприятиях оборонного комплекса, начались первые экспортные поставки в Европу (TRB refractories, Франция).

В 2009 году в ООО «НТПФ «Эталон» введена в строй вторая очередь участка СВС. Суммарная производительность цеха составила – 5000 т/год. Это единственная в России промышленная реализация СВС-процесса и крупнейшая в Европе. В том же году создана полноценная аналитическая лаборатория, оснащенная оборудованием по последнему слову техники. Параллельно инженерно-исследовательский отдел решал различные технические задачи – организации участка по дроблению и помолу ферросплавов, участка по переработки мелкодисперсных порошков, организации системы охлаждения и азотоснабжения реакторов. Создавались новые устройства и агрегаты, которые впоследствии не только использовались в технологии ООО «НТПФ «Эталон», но и становились товарным продуктом фирмы (мельницы, дробилки, смесители, устройства для сушки и т.д.).

В процессе освоения проекта вовлекались выпускники кафедры металлургии МГТУ, аспиранты, велась активная совместная работа с вузами и НИИ. Результаты научно-исследовательских работ публиковались в ведущих научных изданиях, докладывались на международных конференциях и саммитах, в т.ч. на всемирном конгрессе ферросплавщиков INFACON (Финляндия, Хельсинки). Инновационная продукция и технологии патентовались и выставлялись на международных выставках. В 2009 году композиционный материал NITRO-FESIL[®] отметил серебряной медалью международной выставки «Металл-экспо». Коллектив ООО «НТПФ «Эталон» стал победителем ряда всероссийских конкурсов «Умник-2007», «Лучшее инновационное предприятие Южного Урала 2008», «Лучшее предприятие в области качества продукции и услуг 2012».

В 2010 году несколько сотрудников фирмы и аспирантов кафедры защитили кандидатские диссертации в области СВС-процессов. А в 2012 году коллектив авторов Эталон совместно с кафедрой МЧМ издал монографию под названием «Применение СВС-технологий в металлургии» где кратко, в первую очередь для подрастающего поколения инженеров, приводится описание этого интересного процесса.

Взаимодействие фирмы Эталон с научными организациями проходит не только в области СВС материалов, но и по другим металлургическим направлениям. Например, совместно с Уральским институтом металлов в

условиях ОАО «ММК» освоена технология производства высокопрочного листового проката для вагоностроения. Другим ярким примером является совместная работа с институтом Ядерной физики им. Будгера. По патенту Игоря Михайловича Шатохина в ОАО «ММК» произвели электротехническую сталь с низкой коэрцитивной силой. Высокие характеристики полученного металла позволили изготовить дипольные магниты, которые были впоследствии успешно установлены на Адронный коллайдер международного центра ядерных исследований (Церн, Швейцария). За это председателю совета директоров ОАО «ММК» Виктору Филипповичу Рашникову пришла письменная благодарность от Швейцарских ученых, а Игорь Михайлович Шатохин официально стал почетным участником международного проекта по созданию бозона Хиггса.

Активно ведутся совместные исследовательские работы и с Магнитогорским государственным техническим университетом по обогащению сидеритовой руды, получению высокоактивного оксида магния, переработке цинковых шламов.

Сегодня ООО «НТПФ «Эталон» – это не только производитель минеральной воды, а многопрофильная, инновационная, динамично развивающаяся компания со штатом сотрудников более 180 человек, выпускающая продукцию для более чем 100 компаний в России и за рубежом. ООО «НТПФ «Эталон» – это более двухсот запатентованных решений, внедренных в промышленность с экономическим эффектом более 5 млрд рублей.

УДК 669.162.1

В.Г. Дружков, И.В. Макарова, Т.М. Насыров

ПРОИЗВОДСТВО НОВОГО ВИДА ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ – АГЛОМЕРАТЫШЕЙ ПО ЯПОНСКОЙ И УКРАИНСКОЙ ТЕХНОЛОГИЯМ

В статье проведено сравнение технологий производства нового железорудного сырья для доменных печей – агломератышей по японской и украинской технологиям.

В связи с ростом производства стали приходится вовлекать в него бедные и очень бедные железные руды. При обогащении последних образуются тонкие концентраты крупностью менее 0,074 мм, а за рубежом уже менее 0,044 мм.

Продуктом окускования их являются окатыши. Они обладают рядом преимуществ: высокое содержание железа, высокая холодная прочность, позволяющая перевозить их на дальние расстояния и создавать запасы

сырья. В то же время окатыши обладают достаточно серьезным недостатком – низкой горячей прочностью, вследствие чего загруженные в доменную печь окатыши разрушаются с образованием большого количества мелочи, ухудшая газопроницаемость шихты.

На некоторых аглофабриках мира тонкий концентрат спекают, получая агломерат - наилучшее сырье для доменных печей. Однако спекание тонкоизмельченного концентрата ограничено возможностями эксгаустеров, так как введение такого сырья в аглошихту существенно снижает ее газопроницаемость. Как следствие, имеют место потери производства и качества продукта.

В связи с этим, металлурги более чем заинтересованы в усовершенствовании существующих и разработке новых технологий окускования. Япония и Украина являются «первооткрывателями» нового вида железорудного сырья – гибридного агломерата (агломератышей). Такой продукт окускования по качеству занимает промежуточное положение между окатышами и агломератом. Гибридный агломерат имеет высокую холодную и горячую прочности. Опытные проплавки его в доменных печах Японии показали высокую конкурентоспособность нового вида сырья. Японская и украинская технологии получения агломератышей имеют некоторые отличия.

Японская технология получения гибридного агломерата (рис. 1) отлична от технологии получения традиционного агломерата тем, что в цепь агрегатов вводятся несколько (4–8) высокопроизводительных тарельчатых грануляторов для получения миниокатышей крупностью 5–8 мм из смеси концентрата, флюса, коксика (угля) крупностью менее 0,074 (0,044) мм. Далее, в барабанном окомкователе происходит накатывание тонкоизмельченного коксика или угля на поверхность миниокатышей. На конвейерной агломашине предусмотрена зона сушки перед зажигательным горном, чтобы избежать температурного шока миниокатышей [1]. Полученный продукт спекания крупностью 5-80 мм имеет вид «грозди винограда».

Украинская технология (рис. 2) отличается от японской тем, что здесь есть две нитки производства миниокатышей – высокоосновных (1,5–2,5) и низкоосновных (0,3–0,7), дальнейшее их смешивание в пропорции 50/50 и спекание на обжиговой конвейерной машине в режиме, оптимальном для низкоосновных окатышей [2].

При обжиге высокоосновных миниокатышей жидкой фазы образуется больше, чем могут удержать ее внутри окатыша капиллярные силы. Жидкая фаза выходит на поверхность, смачивает низкоосновные окатыши. В зоне охлаждения расплав кристаллизуется, образуя спек, который разрушается роторной дробилкой на куски менее 80 мм.

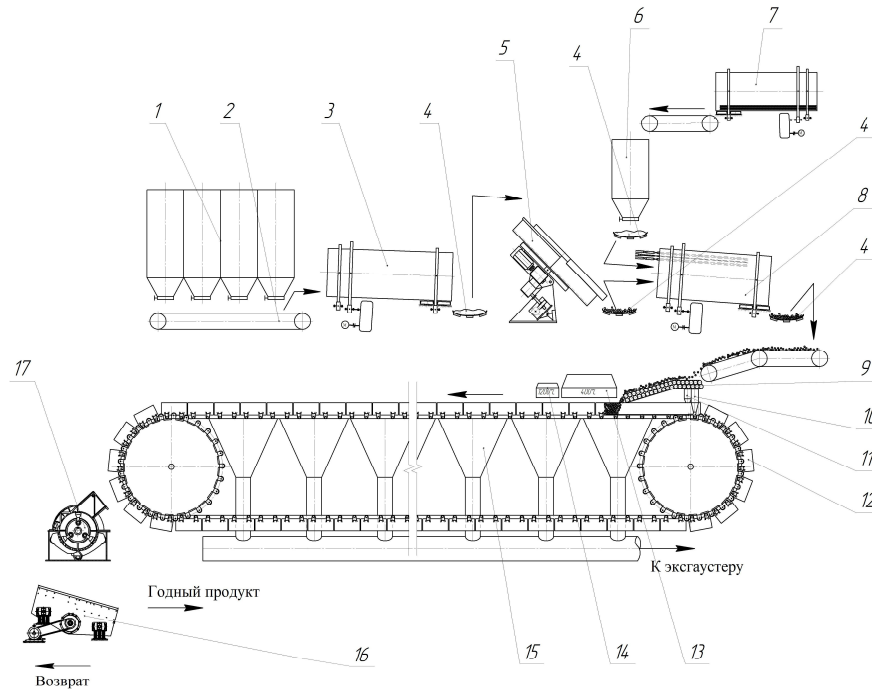


Рис. 1. Японская схема получения агломератышей: 1 – шихтовые бункера; 2 – сборный конвейер; 3 – смесительный барабан; 4 - конвейеры; 5 – тарельчатый гранулятор; 6 – бункер коксовой мелочи (молотого угля); 7 – стержневая мельница; 8 – барабанный окомкователь; 9 – роликовый грохот-укладчик; 10 – укладчик донной постели; 11 – укладчик бортовой постели; 12 – спекательная тележка (паллета); 13 – зона сушки; 14 – зажигательный горн; 15 – эксгаустер; 16 – грохот; 17 – роторная дробилка

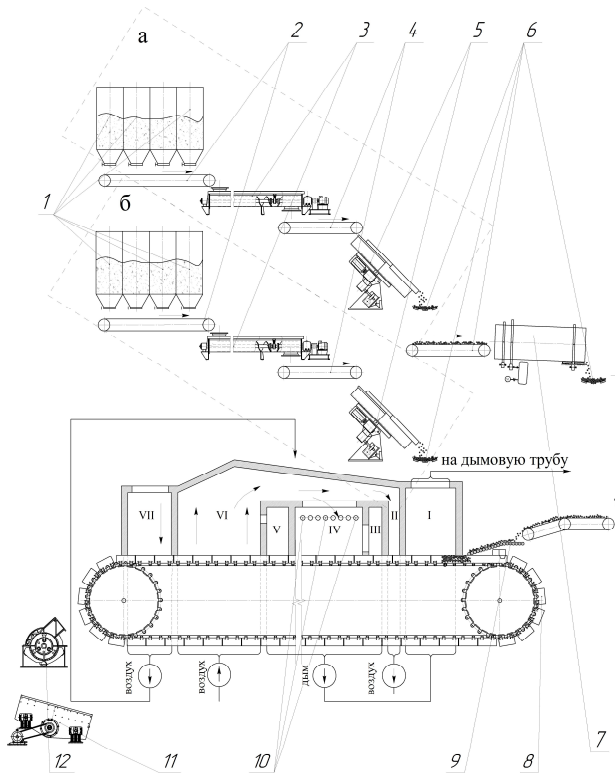


Рис. 2. Схема получения агломератышей по украинской технологии:
 а, б – нитки получения высокоосновных и низкоосновных миниокатышей;
 зоны: I, II – сушки; III – подогрева; IV– обжига; V – рекуперации;
 VI, VII – охлаждения; 1 – шихтовые бункеры; 2 – сборочные транспортеры;
 3 – шнековые смесители; 4,6 – ленточные транспортеры; 5 – тарельчатые
 грануляторы; 7 – барабанный смеситель; 8 – обжиговые тележки;
 9 – роликовый грохот-укладчик; 10 – газовые горелки; 11 – грохот;
 12 – роторная дробилка

Считаем, что технологию производства агломератышей целесообразно внедрить в ОАО «ММК» (например, при проектировании и строительстве аглофабрики №5 или выборе способа окускования железных руд Приоскольского месторождения – основной железорудной базы ОАО «ММК» в будущем). Это повысит качество получаемого агломерата и расширит сферу применения тонких концентратов

Список литературы

1. Развитие технологии окомкования аглошихты в Японии / T.Higuchi, N. Oyama, K. Yamashita и др. // ОАО «Черметинформация». Новости черной металлургии за рубежом. 2011. №1. С. 14–19.
2. Исследование получения прочного окускованного сырья с самоплавкой пустой породой из высококремнистых железорудных концентратов / Н.Н. Бережной, С.А. Федоров, В.Н. Билоус // Повышение эффективности работы доменных печей. М.: Металлургия, 1983. С. 11–15.

УДК 669.162.1:622.78

С.К. Сибгатуллин, Д.Н. Гущин, А.С. Харченко, Н.А. Биденко

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ АГЛОМЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ПРИ ПОВЫШЕНИИ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА ИЗМЕНЕНИЕМ СООТНОШЕНИЯ КОНЦЕНТРАТОВ ОАО «ММК» И ЛЕБЕДИНСКОГО ГОК

Повышение доли концентрата Лебединского ГОК в смеси с магнитогорским концентратом позволяет увеличить производительность агломерационной установки.

Повышение содержания железа в агломерате может использоваться в качестве способа улучшения работы доменных печей ОАО «ММК» [1-3]. Производство такого агломерата требует включения в агломерационную шихту концентрата с повышенным содержанием железа.

В качестве перспективной железорудной базы ММК рассматривается Приоскольское месторождение руд. Аналогом концентрата из этих руд может быть Лебединский концентрат. В связи с этим в лабораторных условиях исследовали влияние доли Лебединского концентрата в шихте на производительность агломерационной установки.

Предварительно путем проведения серии планированных экспериментов [4] выявили оптимальное содержание углерода в шихте и содержание в ней влаги. В последующем опыты проводили при этих уровнях влажности и содержания углерода.

Спекали шихту, включающую 70% концентрата и 30% стойленской аглоруды. Химический состав основных компонентов шихты представлен в таблице.

Основной агломерат во всех опытах была равной 1,6. Различное содержание железа получали варьированием концентратами «ММК» и Лебединского ГОК. Использовали лабораторную установку ФГБОУ «МГТУ им. Г.И.Носова» [5]. Выход годного агломерата характеризовали

отношением фракции +5 мм после дробления спека в щековой дробилке с выходной щелью 18 мм к общему его количеству.

Таблица 1

Химический состав основных компонентов агломерационной шихты

Компонент	Содержание, %								
	Fe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	P	S	TiO ₂	MgO
Стойленская агло- лоруда	54,9	15,84	8,01	2,94	1,32	0,106	0,26	0,25	0,51
Концентрат ОАО «ММК»	61,2	28	6,65	2,18	2,89	0,015	0,78	0,78	0,97
Концентрат Лебе- динского ГОК	68,1	27,9	4,84	0,20	0,20	0,010	0,130	0,10	0,35

Полученные результаты представлены на рис. 1–3.

Получили экстремальную с минимумом зависимость производительности (см. рис. 1) и скорости спекания (см. рис. 3) от содержания концентрата Лебединского ГОК. Но минимум производительности проявлялся слабо при содержании около 10 % этого концентрата. Каждое последующее повышение его действовало на увеличение производительности сильнее. Выход годного агломерата (см. рис. 2) возрастал непрерывно.

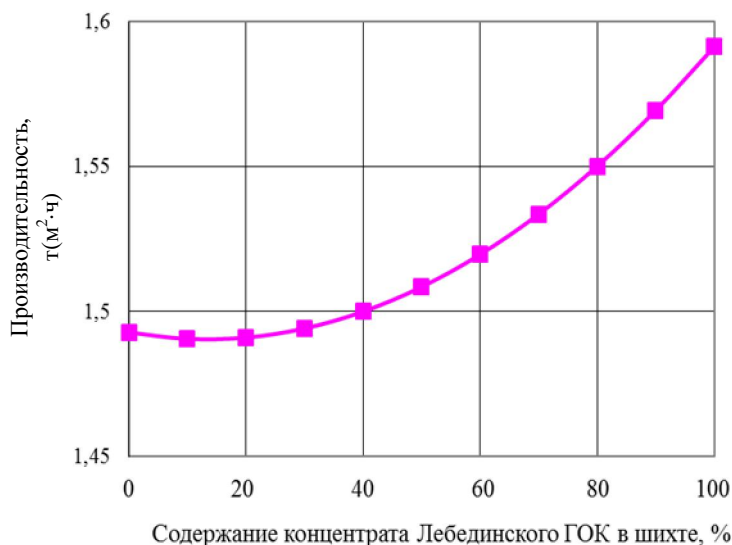


Рис. 1. Влияние концентрата Лебединского ГОК на производительность агломерационной установки

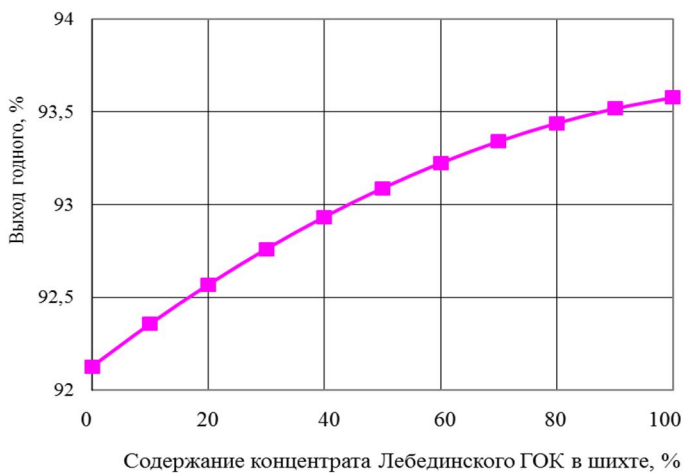


Рис. 2. Влияние концентрата Лебединского ГОК на выход годного агломерата

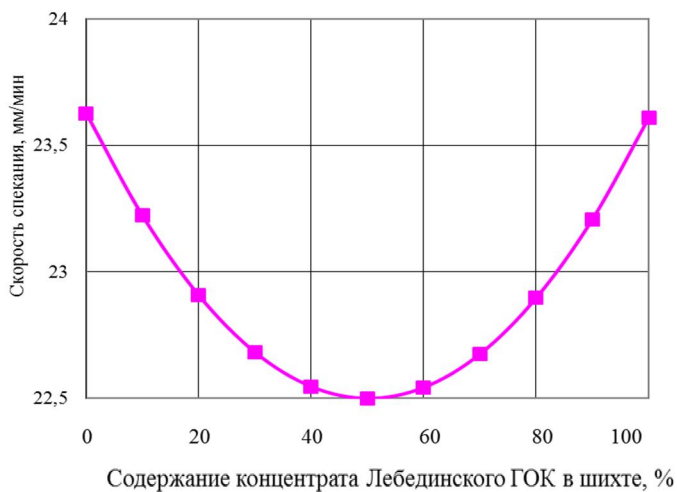


Рис. 3. Влияние концентрата Лебединского ГОК на скорость спекания агломерата

Список литературы

1. Лёкин П.В., Юсупов Р.Б., Полушкин М.Е. Освоение технологии спекания, оценка металлургических свойств и минералогического состава агломерата с содержанием железа 56 – 59 %: отчёт о НИР. Магнитогорск, 2001.

2. Изучение влияния содержания железа в шихте на восстановительные процессы в доменной печи / В.Л. Терентьев, В.А. Гостенин, С.К. Сибатуллин и др. // Сталь. 2004. № 12. С.21–24.
3. Особенности богатого сырья для доменной плавки / Савинов В.Ю., Сибатуллин С.К., Терентьев А.В., Ваганов А.И. // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. Вып. № 4. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2004. С. 4–9.
4. Спирин Н.А., Лавров В.В. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: конспект лекций. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2004. 257 с.
5. Качество агломерата из железорудных концентратов с повышенным содержанием оксида титана / Колокольцев В.М., Бигеев В.А., Сибатуллин С.К., Гушин Д.Н., Иванов А.В. // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. Вып. № 11. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2011. С. 4–8.

УДК 669.162.22-52

В.Г. Дружков, А.И. Ваганов, И.Е. Прохоров, М.Ю. Ширшов

НЕОБХОДИМОСТЬ И ВОЗМОЖНОСТЬ ОСНАЩЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ СИСТЕМАМИ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДУТЬЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Рассмотрена основная проблема использования устройств для измерения и регулирования расходов дутья по фурмам. Предлагается на новом уровне идея использования «бесконтактных» способов замера и регулирования расхода дутья. Такое сочетание гарантирует надежную и продолжительную службу локальной системы автоматического регулирования расхода дутья по фурмам в горне доменных печей.

Расходы дутья по отдельным фурмам в горне доменных печей не одинаковы. Отклонения чаще всего составляют 10–15% от среднего значения, максимально – до 30–50%. Это приводит к существенной неравномерности работы печи по окружности и снижению технико-экономических показателей доменной плавки. Такое различие в значительной мере способствует такому же неравномерному распределению природного газа и других добавок к дутью [1]. Поэтому доменщики вынуждены менять распределение дутья по фурмам путем изменения их диаметра, закрытием и др.

Причины неравномерного распределения дутья по фурмам следующие:

– односторонний подвод горячего дутья к кольцевому воздухопроводу, в результате чего расход его на фурмах в секторах места ввода и диаметрально противоположного ему, как правило, выше;

- разная газопроницаемость материалов в надфурменных зонах из-за неравномерного окружного распределения шихты;
- искажение профиля настывками или разгаром футеровки, например над чугунными лётками;
- неполное смешивание горячего и холодного воздуха;
- разные значения архимедовой силы по секторам горна на выпуске, а значит, и скорости схода материалов;
- геометрия фурменных рукавов, диаметр фурм, попадание в диффузор фурменных приборов фрагментов огнеупорных изделий при частичном разрушении камеры горения и др.

Одной из актуальных задач автоматизации доменного производства является создание системы совместного автоматического управления «верхом» и «низом» печи, включающий ряд согласованно работающих устройств локального и общего воздействия на доменный процесс. Решению этой задачи способствует система автоматического распределения дутья по фурмам (САРД), позволяющая регулировать газовый поток «снизу» [2].

Автоматическим распределением дутья по фурмам начали заниматься в США в 30-е годы, а СССР – в 50-е годы XX столетия.

Разработчики САРД встретились с большими трудностями при решении вопросов измерения расходов дутья на отдельных фурмах и обеспечения стойкости регулирующих органов.

Чаще всего в промышленности расход жидкостей и газов замеряется с помощью стандартных сужающих (дроссельных) устройств – шайб (диафрагм), напорных трубок, сопел Лаваля, труб Вентури и др., с использованием зависимости $Q = k \cdot \sqrt{\Delta h}$. На доменных печах применялись шайбы, сопла, напорные трубки (Пито) и др. Расход дутья на n -фурме определяется по формуле [2]

$$Q_n = k \cdot \sqrt{\Delta h_n},$$

где Δh_n – перепад на фурменном колене (диффузоре) n -й фурмы;

Q_n – расход дутья, $м^3 / мин$, на n -й фурме;

k – коэффициент, определенный по формуле

$$k = \frac{Q_d}{\sum_{n=1}^n \sqrt{\Delta h_n}},$$

где Q_d – суммарный расход дутья на печь, $м^3 / мин$.

Для регулирования расхода дутья по фурмам применяли охлаждаемые регулирующие конусы (Германия), дроссельные заслонки (мотыльки) (КМК, Азовсталь, Япония), шиберы (ММК).

Установка устройств для измерения и регулирования расходов дутья на фурмы внутри фурменных приборов существенно повышала сопро-

тивление тракта подвода дутья к печи. При недостаточной мощности воздуходувки это приводило к снижению производительности, что сдерживало внедрение САРД.

Активизировались работы в этом направлении после того, как М.А. Стефанович предложил определять расход дутья по фурмам без ввода измеряющего устройства в поток дутья, используя значение перепада давлений его в диффузоре фурменного прибора как местном сопротивлении [2, 3].

Основная проблема – низкая стойкость регулирующих органов, работающих при температуре 1000–1200°C, при высоких скоростях газа и абразивном действии пыли на органы и стенки воздухопровода, особенно при взятии печи «на тягу». Наиболее стойкими оказались регулирующие органы, предложенные на ММК – водоохлаждаемые шиберы, дополнительно охлаждаемые сверху компрессорным воздухом и убирающиеся при взятии печи «на тягу».

Эксплуатация САРД на доменных печах ММК, Азовстали, КМК, Макеевского металлургического завода показала высокую эффективность их работы. При автоматическом регулировании расхода дутья неравномерность распределения его по фурмам снизилась в 4 раза, улучшилась степень использования газового потока, что способствовало снижению температуры кладки шахты, увеличению производительности печи на 4,1% и сокращению удельного расхода на 2,7% [2,4,5].

Повышение температуры дутья выше 1000–1100°C способствовало резкому снижению стойкости регулирующих органов. Даже наиболее стойкие шиберы конструкции ММК коробились и выходили из строя.

Работы по совершенствованию и внедрению САРД были прекращены.

Представляется, что новый импульс к возобновлению этих работ на более высоком уровне может придать предложение кафедры металлургии черных металлов МГТУ им. Г.И. Носова о регулировании расхода дутья по фурмам изменением места ввода природного газа (топливной добавки) в фурменном приборе. Увеличение расстояния места ввода природного газа от носка фурмы (следовательно – времени пребывания природного газа в фурменном приборе) способствует росту степени полного горения его и температуры газозвушной смеси, а значит, объема, скорости истечения и, в конечном итоге, сопротивления фурмы. Расход дутья через данную фурму упадет, а на остальные – увеличится. Необходимо устроить несколько мест ввода природного газа и поставить краны для подключения их к магистрали природного газа [6,7].

Контроль и регулирование распределения дутья по фурмам доменной печи представляет значительные возможности [2]: по расходу дутья через фурмы можно судить об изменении газопроницаемости столба шихтовых материалов в определенном секторе доменной печи, а регулирование расхода дутья по фурмам дает возможность воздействовать на распределение газового потока.

САРД является весьма перспективной, позволит оптимизировать газодинамику нижней зоны доменной печи и значительно снизить расход кокса.

Сочетание «бесконтактного» замера расхода дутья на фурму с «бесконтактным» способом регулирования его гарантирует надежную и продолжительную службу локальной системы автоматического регулирования расхода дутья по фурмам в горне доменных печей.

Список литературы

1. Тарасов В.П., Тарасов П.В. Теория и технология доменной плавки. М.: Интермет Инжиниринг, 2007. 384 с.
2. Разработка и внедрение системы автоматического распределения дутья по фурмам / Н.Н. Сажнев, Н.И. Иванов, М.А. Стефанович и др. // Вопросы теплотехники и автоматизации металлургического производства: сб. науч. трудов. Магнитогорск, 1970. Вып. 76. С.4–9.
3. Сажнев Н.Н. Система автоматического распределения дутья по фурмам доменной печи // Бюл. ЦИИН. 1969. №13. С. 39–40.
4. Автоматическое регулирование распределения дутья по фурмам доменной печи Кузнецкого металлургического комбината / Б.Н. Жеребин, В.А. Хромов, П.П. Мишин и др. // Сталь. 1964. №4. С.292–296.
5. Анализ работы доменной печи при автоматическом регулировании дутья по воздушным фурмам / Г.Е. Сенько, В.Н. Оноприенко, А.П. Царицын и др. // Сталь. 1965. №7. С.590–593.
6. Стефанович М.А., Дружков В.Г., Трифонов А.Д. Регулирование хода доменной печи изменением места ввода природного газа в дутье // Изв. вузов. Черная металлургия. 1977. №10. С.13–14.
7. Регулирование хода доменной печи изменением высова воздушных фурм в горн / В.Г. Дружков, И.Е. Прохоров, А.И. Иванов, И.В. Макарова // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. Магнитогорск, 2011. Вып. 11. С. 25–31.

УДК 669.162.2

Е.В. Овчинникова, А.Н. Шаповалов

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗАГРУЗКИ НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ № 3 ОАО «УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ»

Изучено влияние системы загрузки на показатели работы доменной печи №3 ОАО «Уральская Сталь», оборудованной двухконусным загрузочным устройством, и рассмотрена возможность применения раздельной загрузки как одной из действенных мер улучшения показателей доменной плавки в условиях низкого качества шихтовых материалов.

Исследование влияния системы загрузки (СЗ) на показатели работы доменной печи (ДП) №3 ОАО «Уральская Сталь» ($V_{\text{п}} = 1513 \text{ м}^3$) проводи-

лось по среднемесячным, а также суточным производственным данным, усредненным по периодам в 5 суток, с марта 2009 года по май 2012 года.

Отслеживание динамики качества шихтовых материалов, используемых в данный период, показало его заметное ухудшение, особенно по коксу. Поэтому весь исследованный период был разделен на 3 сравнительных с учетом разных систем загрузки и снижающейся прочности кокса:

- март 2009 - февраль 2010 гг. – смешанная система РККР↓;
- июнь 2011 – январь 2012 гг. – раздельная система РР↓РР↓КККК↓ при «хорошем» качестве кокса;
- январь – май 2012 гг. – раздельная система РР↓РР↓КККК↓ при низком качестве кокса;

В табл. 1 представлены среднесуточные данные о шихтовых условиях и показателях работы доменной печи №3 за период с марта 2009 г. по май 2012 г.

Таблица 1

Усредненные данные о шихтовых условиях и показателях работы ДП №3 ОАО «Уральская Сталь» за период с марта 2009 г. по май 2012 г.

Показатели	Период 1	Период 2	Период 3
Система загрузки	РККР↓	РР↓РР↓КККК↓	
<i>Качество шихтовых материалов</i>			
Зерновой состав агломерата, %, + 40 мм	3,9	3,9	3,7
25 – 40 мм	12,5	13,6	11,4
25 – 10 мм	34,4	34,2	34,8
10 – 0 мм	49,2	49,4	50,1
Прочностные показатели кокса, %, М25	84,9	84,0	83,5
М10	9,6	10,4	10,6
<i>Технико-экономические показатели работы печи</i>			
Производительность, т/сут: фактическая	2440,2	2538,8	2422,2
приведенная	2348,4	2484,4	2384,5
Расход кокса, кг/т: фактический	496,6	462,7	464,6
приведенный	493,2	457,4	450,8
Степень использования СО, %	44	50	48

Анализ влияния содержания мелочи (0-5 мм) в агломерате на ТЭП при смешанной загрузке показал снижение производительности печи. Это свидетельствует о том, что в данный период возможности по форсировке плавки сдерживались газодинамикой «верха» печи.

При применении раздельной загрузки с увеличением мелочи в агломерате отмечается повышение производительности, что связано с изменением газодинамических условий работы печи. Так, в период с раздельной загрузкой, вследствие резкого ухудшения прочностных показателей кокса, лимитирующей зоной по газодинамике процесса является «низ» печи, поэтому увеличение мелочи в агломерате, ведущее к увеличению удельной поверхности железорудных материалов, способствовало лучшему использованию энергии газового потока и, следовательно, росту производительности.

Влияние содержания мелочи в агломерате на расход кокса рассматривалось с учетом качества кокса. В период со смешанной СЗ влияние содержания мелочи в агломерате на расход кокса было незначительным. При раздельной загрузке данная зависимость определялась с учетом его качества:

- до января 2012 г. – с увеличением мелочи в агломерате расход кокса снижался, что объясняется имеющимся в этот период резервом по газодинамике верха печи, который обеспечивал более эффективное использование энергии газового потока.

- с января 2012 г. – при резком ухудшении качества кокса, с увеличением содержания мелочи, возрос и его расход, что связано, по всей видимости, с возникновением ограничений по газодинамике верха и снижением степени использования СО.

Анализ ТЭП работы печи позволил установить, что увеличение прочности кокса по показателю М25 во всех исследуемых периодах благоприятно сказывается на производительности и расходе кокса. Причем выявлены пределы положительного влияния увеличения прочности кокса в связи с ограничениями по газодинамике процесса. Так, для смешанной СЗ данный предел составляет 85,2%, а раздельной – 84,3 %.

Усредненные ТЭП работы ДП № 3 по среднесуточным данным представлены на рис. 1 и 2.

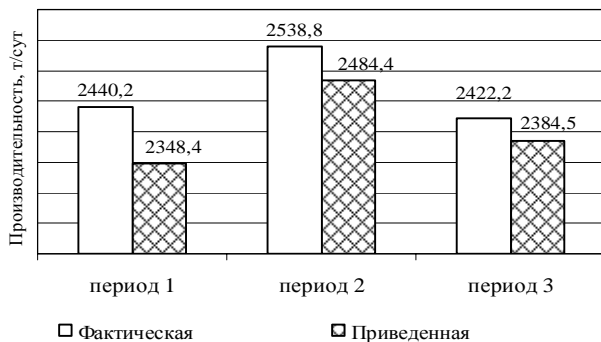


Рис. 1. Производительность ДП № 3 ОАО «Уральская Сталь» при различных системах загрузки с учетом качества кокса

Таким образом, при постоянном качестве шихты и параметрах дутья раздельная СЗ позволяет достигнуть более высоких ТЭП. Кроме того, учет качества кокса показал, что, несмотря на резкое снижение его прочности, показатели работы печи при использовании раздельной загрузки превосходят показатели, полученные в период применения смешанной СЗ. Следовательно, в условиях низкого качества шихтовых материалов раздельная загрузка является одной из действенных мер по улучшению показателей работы печи.

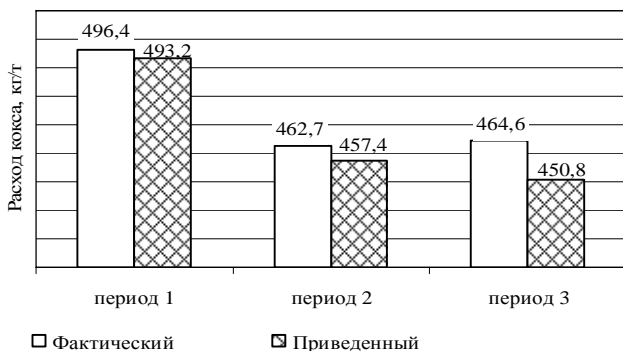


Рис. 2. Расход кокса на ДП № 3 ОАО «Уральская Сталь» при различных системах загрузки с учетом качества кокса

В ходе проделанной работы также были определены оптимальные параметры дутья, позволяющие достигнуть максимального эффекта от применения разных систем загрузки. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Оптимальные параметры дутья для ДП № 3 ОАО «Уральская Сталь» при различных системах загрузки, с учетом качества кокса

Параметр	Период 1*	Период 2	Период 3	
Система загрузки	РККР↓	РР↓РР↓	КККК↓	
Прочность кокса, %	M25	84,9	84,0	83,5
	M10	9,6	10,4	10,6
Температура горения, °С	$\frac{2140 - 2150}{2125 - 2140}$	2150 - 2165	до 2100	
Расход дутья, м ³ /мин	2650	2500	до 2400	
ПГ/О ₂ , м ³ /м ³	2,6 – 2,8	1,7 – 1,8	2,5	
Кинетическая энергия, кДж/с	$\frac{100 - 110}{85 - 95}$	85 - 95	60-70	
* В числителе – значения для увеличения производительности, в знаменателе – для снижения расхода кокса.				

Таким образом, отдельная система загрузки является эффективным способом улучшения технико-экономических показателей доменной плавки в условиях низкого качества шихтовых материалов. Максимальный эффект данного мероприятия достигается при оптимальном сочетании параметров дутья.

Список литературы

1. Ефеменко Г.Г. Металлургия чугуна. К.: Выща шк.,1988. 351 с.
2. Бабарькин Н. Н. Теория и технология доменного процесса: учеб. пособие. Магнитогорск ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. 257 с.

3. Использование средств организации доменного процесса / М.А. Стефанович [и др.] // Производство чугуна. Свердловск: УПИ, 1982. С.99–107.
4. Тарасов В.П. Газодинамика доменного процесса. М.: Metallургия, 1982. 224 с.

УДК 622.341; 669.162

С.П. Ключковский, Н.Ю. Свечникова, А.Н. Смирнов, С.В. Юдина

КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ВЫСОКОМАГНЕЗИАЛЬНЫХ СИДЕРИТОВЫХ РУД, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТ

Используя программу термодинамических расчетов HCh, было проанализировано влияние давления диоксида углерода на процесс выщелачивания. Полученные результаты были сопоставлены с данными экспериментов.

Объект исследований – сидеритовые руды Бакальского месторождения, основным рудообразующим минералом которых является сидероплезит, представляющий собой изоморфную смесь карбонатов железа, магния и незначительного количества марганца [1]. Нерудные материалы – это доломит, кварцит, алюмосиликаты, сланцы. И до обжига и после обжига железо и магний входят в общую кристаллическую решетку, что не позволяет их разделять обычными методами обогащения. Химическое обогащение руды или продукта ее термического разложения (выщелачивание) должно основываться на применении способа (реагента), обеспечивающего селективное извлечение одного из компонентов. Способы выщелачивания оксида магния с использованием сильных минеральных кислот (H_2SO_4 , HCl , HNO_3) не пригодны как с экономической, так и экологической точки зрения. Использование же слабой угольной кислоты обеспечивает селективное извлечение оксида магния и не приводит к возникновению проблем, связанных с применением сильных кислот

Экспериментальное определение оптимальных условий проведения процесса выщелачивания зачастую затруднено, поэтому применение моделирования на стадии разработки позволяет наметить контуры возможной технологии. Используя возможности программы термодинамических расчетов HCh [2, 3], был смоделирован процесс выщелачивания оксида магния из магнитной фракции концентрата обожженного сидерита (КОС) и проанализировано влияние давления CO_2 в интервале от 1 до 20 атм с шагом 1 атм.

Газовый состав системы (КОС) согласно рентгенофазовому анализу (рис.1) представлен 4-мя твердыми фазами: $MgO*FeO$ (магнезиовюстит), $MgO*Fe_2O_3$ (магнезиоферрит), $FeO*Fe_2O_3$ (магнетит), $MnO*Fe_2O_3$ (магманит), причем суммарное содержание магнезиовюстита и магнезиоферрита составило 75%. Кроме того, учли наличие водной и газовой фазы, В расчетах не учитывалось наличие вмещающей породы: карбонатов, глинозема, кварцита, силикатов и возможное присутствие периклаза.

Если считать, что выщелачивание проводится при температуре $t = 25^{\circ}C$, $P_{CO_2} = 1$ атм и соотношении твердое – жидкость как 1:20, то согласно расчету из твердой фазы в водный раствор переходит магний в

виде: ионов Mg^{++} , $MgHCO_3^+$, образуется нерастворимый $MgCO_3$, а также незначительного количества $MgOH^+$, тогда как железо и марганец практически не переходят в водную фазу. При этом суммарное извлечение оксида магния в водную фазу составляет 25%.

Согласно расчетам в процессе выщелачивания при условиях, указанных выше, в твердой фазе значительно снижается содержание магнезиовюститита $MgO \cdot FeO$ (от 48 до 34%) при одновременном увеличении в ней содержания магнетита $FeO \cdot Fe_2O_3$ (от 20 до 37%), тогда как содержание магнезиоферрита $MgO \cdot Fe_2O_3$ и магманита $MnO \cdot Fe_2O_3$ практически не изменяется.

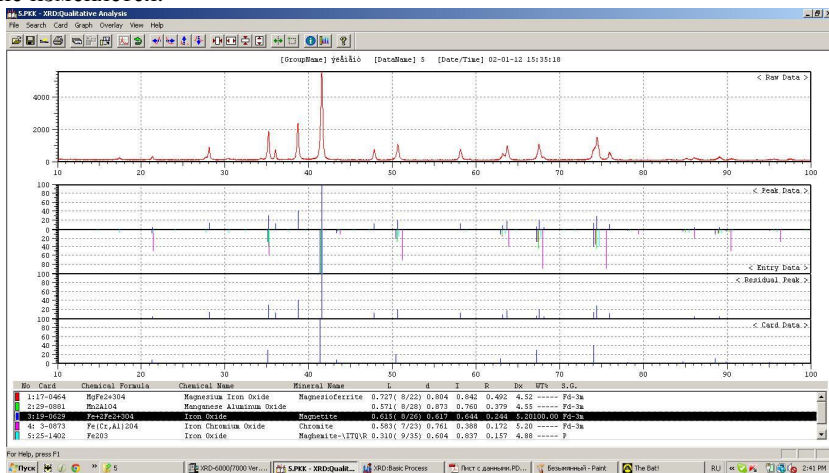


Рис. 1. Рентгенограмма образца КОС

Если давление диоксида углерода увеличить до трех атмосфер, то согласно расчету весь оксид магния из магнезиовюститита переходит в раствор, а при повышении давления диоксида углерода до 5 атм и из более устойчивой шпинели – магнезиоферрита – $MgO \cdot Fe_2O_3$ (рис.2).

При этом следует иметь в виду, что термодинамические расчеты не учитывают «кинетических препятствий» и полного извлечения оксида магния, в реальных процессах за конечный промежуток времени может и не произойти.

Эксперименты по выщелачиванию проводили при комнатной температуре и давлении CO_2 , равном одной атмосфере. Для проведения выщелачивания магнитная фракция КОС подвергалась помолу до размеров частиц мене 300 мкм. Соотношение твердое – жидкость при проведении экспериментов составляло один к двадцати [4]. В этом случае от 30 до 60% оксида магния переходит в раствор в виде хорошо растворимого бикарбоната магния: $MgO + 2CO_2 + H_2O \rightarrow Mg(HCO_3)_2$. Все

остальные компоненты остаются в твердой фазе (оксид кальция переходит в раствор в незначительных количествах). При нагревании полученного раствора до 80 – 90 °С из него выпадает нерастворимый карбонат магния $MgCO_3 \cdot 3H_2O$. Последний при прокаливании выше 630 °С разлагается на оксид магния и диоксид углерода.

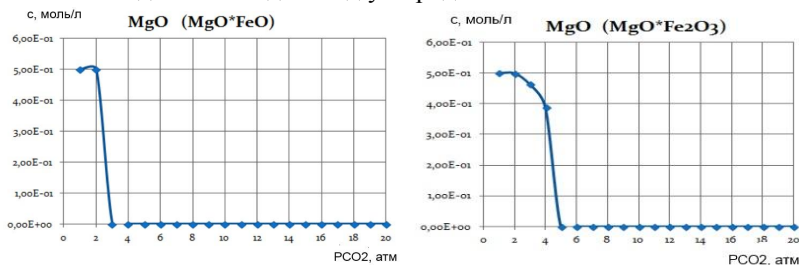


Рис. 2. Зависимость содержания MgO в твердой фазе от давления CO_2

Поскольку результаты моделирования демонстрируют возможность извлечения большей доли оксида магния, чем 60%, то предполагается создание установки, где выщелачивание можно будет проводить при давлениях CO_2 , превышающих атмосферное. Вместе с тем, согласно расчету доля извлеченного оксида магния при $P_{CO_2} = 1$ атм составляет 25%, тогда как в экспериментах она достигала 60% и более. Расхождение расчетных значений и экспериментальных данных, по-видимому, связано с тем, что доля FeO в «модельном образце» магнезиовюстита ($FeO - MgO$) составляла 80%, что, вероятно, значительно больше, чем доля FeO в экспериментальных образцах. Поэтому в расчетах, когда давлении CO_2 равно одной атмосфере, необходимо проанализировать зависимость доли выщелачиваемого оксида магния от доли FeO в магнезиовюстите, при постоянстве суммарного содержания магнезиовюстита и магнезиоферрита в образцах.

Таким образом, комплексная переработка руд Бакальского месторождения предполагает, в отличие от ранее реализованных схем, не только повышение содержания железа в железорудном концентрате, но и получения второго продукта – магнезии, с содержанием оксида магния не менее 99%, или различных солей магния [5].

Список литературы

1. Анализ современных методов переработки сидеритовых руд / Вусихис А.С., Леонтьев Л.И., Кудинов Д.З. и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И.Носова. 2011. №3. С.49-52.
2. Борисов М.В., Шваров Ю.В. Термодинамика геохимических процессов: учеб. пособие. М.: Изд-во МГУ, 1992. 256 с.
3. Шваров Ю.В. Алгоритмизация численного равновесного моделирования динамических геохимических процессов // Геохимия. М., 1999. №6. С. 646–652.
4. Клочковский С.П., Лаптев А.П., Смирнов А.Н. Кинетика выщелачивания ок-

- сида магния из продуктов обжига высокомагнезиальных сидеритов // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. Магнитогорск, 2012. С. 117–120.
5. Klochkovskii S., Smirnov A. The Principles of Processing Siderite Ores with a high Magnesium Oxide Content. Defect and Diffusion Forum Vols. 326-328 (2012), pp. 111-114.

УДК 669. 053:543.06

З.И. Костина, С.А. Крылова, И.В. Понурко, В.Ф. Костин

СПОСОБЫ ДЕМАГНИЗАЦИИ СИДЕРОПЛЕЗИТОВ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ СОЕДИНЕНИЙ МАГНИЯ

Рассмотрены способы демагнизации труднообогатимой сидероплезитовой руды и получения на основе извлеченного оксида магния различных солей по безотходной технологии.

Настоящее исследование является продолжением ранее начатых работ по демагнизации сидероплезитовых руд Бакальского месторождения, в которых максимально достигнутая степень извлечения магния из руды составляла всего лишь 40%, что позволило снизить содержание оксида магния в руде до 7–8% [1].

Следующие исследования проводились по трем направлениям:

- 1) подбор активатора – демагнизирующего кислотного агента, способствующего разрушению изоморфной кристаллической решетки сидероплезита при обжиге и повышающего эффективность выщелачивания соединений магния;
- 2) извлечение магния из руды, прошедшей предварительную специальную обработку по запатентованной методике;
- 3) получение солей на основе магния, извлеченного из руды.

По первому направлению авторами в качестве активатора была использована фосфорная кислота [2].

В результате использования предложенного активатора для обработки сидероплезитов была достигнута практически 100%-ная демагнизация. При уменьшении количества активатора степень демагнизации может быть снижена до требуемой в металлургическом производстве. Наибольшее содержание железа в концентрате составило 65% при расходе активатора – 100 кг/т руды. В производственных условиях наряду с фосфорной кислотой могут быть использованы фосфорсодержащие компоненты – фосфористые руды и т.п.

На данный способ демагнизации авторами в 2012 г. получен патент [3].

По второму направлению извлечение магния проводили из сидероплезита, предварительно активированного в соответствии с патентом [4].

В активированном сидероплезите исходное количество MgO составляло 15,8%.

В качестве реагентов для выщелачивания на первом этапе использовали разбавленные 2Н растворы кислот: серной и хлороводородной.

Для уменьшения перехода в раствор соединений железа при добавлении кислот следили за тем, чтобы значение pH не опускалось ниже 3, после чего проводили отделение концентрата от фильтрата и анализировали их. В табл.1 представлены результаты анализа концентрата и степень извлечения MgO в фильтрат.

По результатам исследований сделаны следующие выводы:

- степень извлечения магния из активированного сидероплезита увеличилась примерно в 1,5–2 раза по сравнению с результатами демагнизации неактивированного сидероплезита при одинаковых количествах кислоты-демагнизатора;

- при использовании кислоты-демагнизатора – хлороводородной кислоты - в фильтрат переходят катионы Fe (II) от 0,5 до 4% при планируемой степени извлечения 0,5 до 1,0 (в расчете на оксид магния) соответственно;

- при использовании кислоты-демагнизатора – серной кислоты в фильтрат начинают переходить катионы Fe (II) при степени извлечения MgO 0,6 и выше.

Таблица 1

Результаты выщелачивания

Кислота – демагнизатор	Планируемая степень извлечения MgO, мас. доли	Опытная степень извлечения MgO, мас. доли	Содержание Fe в фильтрате, %	Содержание в концентрате, %	
				MgO	Fe
H ₂ SO ₄	0,50	0,45	Не обнаружено	-	-
	0,75	0,60	0,9	-	-
	1,00	0,70	2,0	5,6	57,8
HCl	0,50	0,47	0,5	-	-
	0,75	0,68	3,0	-	-
	1,00	0,80	4,3	3,7	59,1

По третьему направлению исследовали возможность получения различных солей магния из фильтрата.

1. Получение хлорида магния.

При использовании хлороводородной кислоты в качестве демагнизатора из-за медленного окисления соединений железа (II) при выпаривании

не удалось полностью выделить их из раствора, поэтому были получены бурые кристаллы $MgCl_2$, загрязненные примесями соединений железа (III).

2. Получение сульфата магния.

Извлечение оксида магния разбавленными растворами серной кислоты более перспективно для дальнейшего получения чистых солей магния, так как часть примесей железа (II) в процессе упаривания окисляются до Fe (III) и легко отделяются в виде осадка гидроксида и оксида железа (III).

С целью снижения содержания железа в фильтрате и получения чистых солей магния возникла необходимость окисления Fe (II) до Fe (III), т.к. соединения Fe (III) переходят в раствор в более кислой среде, чем соединения магния, что важно для дальнейшего получения чистых солей магния из фильтрата.

В качестве окислителей использовали: пероксид водорода, $KMnO_4$, MnO_2 , кислород воздуха. Окислитель вводили непосредственно в обрабатываемую пробу (табл.2, серии 1-3), а в сериях 4,5 – к фильтрату.

Таблица 2

Результаты демагнизации в присутствии окислителей

Номер серии опытов	Окислитель	Доля реагента - демагнитатора по отношению к содержанию MgO в пробе	Доля извлеченного MgO	Содержание в растворе Fe, мас.%
1	H_2O_2	0,75	0,27	0,08
2	$KMnO_4$	0,75	0,32	Следы
3	MnO_2	0,75	0,30	0,09
4	MnO_2	0,75	0,58	Следы
5	Кислород воздуха	0,75	0,60	0,30

Ориентируясь на требование доступности и экономичности использования окислителя в производственных условиях, а также на получение чистых солей магния, далее окисление соединений Fe (II) в фильтрате проводили кислородом воздуха.

Для более глубокой очистки в фильтрат добавляли осадитель, повышающий значение pH раствора до 7, что соответствует значению pH осаждения железа (III), но недостаточно для осаждения гидроксида магния. После отделения осадка гидроксида железа (III) и дальнейшего упаривания фильтрата получили сульфат магния в виде белых блестящих кристаллов $MgSO_4 \cdot 7H_2O$.

Таким образом:

- количество извлеченного магния в присутствии окислителя, добавляемого к обрабатываемой пробе, уменьшилось примерно в 2 раза, что свидетельствует о существенном снижении активности руды, достигнутой в результате обработки согласно патенту [4];

- добавление окислителя к фильтрату (после отделения концентрата) привело к снижению содержания железа от 0,9 до следового количества, обнаруживаемого только по качественной реакции без изменения количества извлеченного MgO (см. табл.2);

- использование кислорода воздуха, как экономичного и доступного окислителя в производственных условиях, наиболее эффективно при одновременном добавлении осадителя, содержащего ионы магния.

3. Получение других соединений магния.

Из первично полученной соли – сульфата магния можно получить другие соединения магния и побочные соли, содержащие ионы добавленных по технологии реагентов, например: Mg(OH)₂, MgO, K₂SO₄, Mg NH₄PO₄, (NH₄)₂SO₄ и другие.

С учетом трудностей удаления соединений железа из растворов при получении чистых солей целесообразно использовать двухступенчатый способ:

первая ступень – демагнизация активированного сидероплезита разбавленным раствором серной кислоты, добавленной в таком количестве, чтобы степень извлеченного MgO не превышала 0,6. В этом случае в фильтрате отсутствуют соединения железа;

вторая ступень – остаточные количества MgO в концентрате извлекаются фосфорной кислотой в соответствии с патентом [3] с получением чистых соединений Mg NH₄PO₄ и (NH₄)₂SO₄.

Список литературы

1. Исследование возможности демагнизации сидероплезитовых руд в лабораторных условиях / Костина З.И., Крылова С.А., Понурко И.В., Костин В.Ф. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 68-й межрегион. науч.-техн. конференции. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. Т.1. С.119–121.
2. Активатор для демагнизации сидероплезитов / Костина З.И., Костин В.Ф., Крылова С.А., Понурко И.В. // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Вып.12. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2012. С.124–128.
3. Пат. 2468095 РФ. Способ комплексной переработки железной руды с повышенным содержанием соединений магния / Костина З.И., Смирнов А.Н., Костин В.Ф., Крылова С.А., Понурко И.В.
4. Пат. 2471564 РФ. Способ переработки сидеритовых руд / Смирнов А.Н., Клочковский С.П., Бигеев В.А., Колокольцев В.М., Бессмертных А.С.

В.Д. Черчинцев, О.Ф. Дробный, Е.В. Птицын

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ АСПИРАЦИИ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ №2 ОАО «ММК» С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

В статье изложены результаты определения количественных и качественных характеристик выбросов, образующихся на литейных дворах и подбункерных помещениях доменной печи №2 ОАО «ММК», а также технические предложения по совершенствованию системы аспирации этой печи.

Валовые выбросы загрязняющих веществ ОАО «ММК» в атмосферный воздух в 2012 году составили 220,2 тыс. т, из них вклад источников доменного цеха составил порядка 31 тыс. т (более 14%).

При рассеивании загрязняющих веществ в атмосферном воздухе одним из основных вкладчиков в формирование приземных концентраций твердых веществ на границе санитарно-защитной зоны предприятия являются источники выбросов подбункерных помещений доменного производства.

Кроме того, на литейных дворах и в подбункерных помещениях доменных печей условия труда являются одними из наиболее тяжелых. Рабочие зоны этих участков характеризуются высокой запыленностью и загазованностью.

С целью снижения негативного воздействия на атмосферный воздух и улучшения условий труда в условиях действующего производства проведены исследования мест пылевыведения, разработаны конструктивные схемы укрытий узлов перегрузки и зон интенсивного пылевыведения при транспортировке шихтовых материалов, а также разработана система перекрытия газоходов, отводящих эти смеси от неработающих зонтов и воронок с помощью запорных клапанов. Применение данных решений позволит снизить количество необходимого для отсоса потока с 400 до 250 тыс. м³/ч.

Конструктивные и рабочие параметры аспирационной системы доменной печи №2 при работе всех аспирационных узлов и закрытии неработающих узлов «З-В» приведены в таблице.

Укрытие леток, главных горновых желобов литейного двора доменной печи № 2 ОАО «ММК» возможно лишь при поднятии кольцевого газохода печи и установки манипуляторов, монтаже боковых отсосов чугунных и шлаковых желобов, укрытии шлакоразливочных окон, что возможно при осуществлении работ по реконструкции значительной части литейных дворов в период проведения ремонта печи Г⁰ разряда.

Учитывая данный факт, целесообразно проводить работы по созданию эффективной системы аспирации доменной печи № 2 поэтапно, обеспечив на первом этапе аспирационный отвод пылегазовой смеси от

качающегося желоба и объединив его с пылевоздушным потоком, аспирируемым от мест пылевыведения подбункерных помещений, направить на очистку от пыли в электрофильтр.

На основании моделирования поля давления, поля температуры и поля скоростей, с учетом отсоса газопылевого потока только от качающихся желобов литейного двора доменной печи №2 и неодновременности их работы, необходимо обеспечить отсос 250 тыс. м³/ч с применением круглых запорных клапанов, включаемых согласно регламенту работы печи с центрального пульта в автоматическом режиме.

Конструктивные и рабочие параметры аспирационной системы доменной печи №2 при работе всех аспирационных узлов и закрытии неработающих узлов «З-В»

Наименование источника	Параметры аспирационной системы доменная печь №2					
	конструктивные		рабочие			
	К-во зонтов	Диаметр, мм	Расход на 1 зонт, тыс.м ³ /ч	Итого по источнику тыс.м ³ /ч	Скорость воздуха, м/с (факт)	Итого по источнику* тыс.м ³ /ч (н.у.)
ЦЕНТР						
Грохот кокса	2	300	7,5	15	29,7	15
Весовая воронка агломерата	2	640	45	90	19,4	90
Скиповая яма	2	520	30	60	19,6	60
ИТОГО	6			165		165
ЗАПАД						
Весовая воронка добавок	8	355	7,5	60	21	30
Конвейер добавок	8	280	5	40	22,6	5
Конвейер мелочи агломерата	8	280	5	40	22,6	5
Конвейер мелочи агломерата (пересыпка)	1	250	3,75	3,75	21,2	3,75
ИТОГО	25			143,75		43,75
ВОСТОК						
Весовая воронка добавок	5	360	7,5	37,5	21	27,5
Конвейер добавок	5	280	5	25	22,6	5
Конвейер мелочи агломерата	5	280	5	25	22,6	5
Конвейер мелочи агломерата (пересыпка)	1	250	3,75	3,75	21,2	3,75
ИТОГО	16			91,25		41,25
ВСЕГО	47			400		250

Реализация первого этапа работ по созданию единой системы аспирации доменной печи №2, заключающаяся в объединении пылегазовых выбросов, отводимых от качающихся желобов, с пылевоздушными выбросами, отводимыми от мест пылевыведения подбункерных помещений при условии их очистки в электрофильтре ОАО «ММК», позволит снизить валовые выбросы загрязняющих веществ на 650 т в год.

УДК 669.1

А.А. Метелкин, О.Ю. Шешуков, И.В. Некрасов

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ ОКСИДА МАГНИЯ В ШЛАКЕ С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ СТОЙКОСТИ ФУТЕРОВКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ НА УЧАСТКЕ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ КЦ ЕВРАЗ НТМК

Рассмотрено влияние содержания MgO на износ огнеупорных изделий в сталеразливочном ковше. Найдены оптимальные значения по содержанию MgO в гомогенной составляющей шлака.

Для успешной деятельности любого предприятия, в том числе и для металлургического, необходимо решать задачи получения должного качества готовой продукции при минимальных затратах на ее производство. Исходя из этого, в области применения огнеупоров работа по оптимизации удельных затрат является достаточно актуальной [1]. Следовательно, повышение стойкости футеровки – одна из главных задач в направлении снижения себестоимости металла [2].

Для повышения стойкости футеровки металлургических агрегатов необходимо изучить факторы, влияющие на износ огнеупорных изделий.

Основной износ огнеупорных изделий (около 2/3) осуществляется химическим путем – коррозией [3] (в нашем случае – шлаком).

Поскольку футеровка стальной ковшевой содержит MgO, то в первую очередь необходимо оценить влияние содержания MgO в шлаке на износ огнеупорных изделий.

Влияние оксидов на футеровку сталеразливочного ковша определим по насыщению и гомогенности основных оксидов в расплаве.

Анализ износа футеровки от содержания основных компонентов шлака показал, что при различном содержании MgO в шлаке изменяется и скорость износа огнеупорных изделий. Минимальный износ футеровки (0,766 мм/пл.) отмечен на стальковшах, в гомогенной фазе шлака которого содержание MgO в 60 % случаев находилось в пределах от 7,5 до 9% (рис. 1) [4]. При содержании MgO менее 7,5% его влияние на износ футеровки не выявлено. Однако при содержании MgO в шлаке более 9 % износ огнеупорных изделий увеличился.

К аналогичным выводам приходим при анализе содержания MgO не только в гомогенной составляющей, а также в общем объеме шлака (рис. 2). Удельный износ футеровки сталеразливочного ковша тоже зависит от обычного содержания MgO в шлаке (см. рис. 2). Также расчеты показывают, что при повышении содержания в шлаке MgO более 9% удельный износ увеличивается.

Из данных, представленных на рис. 1 и 2 видно, что при различном содержании MgO в шлаке меняется и износ футеровки сталеразливочного ковша.

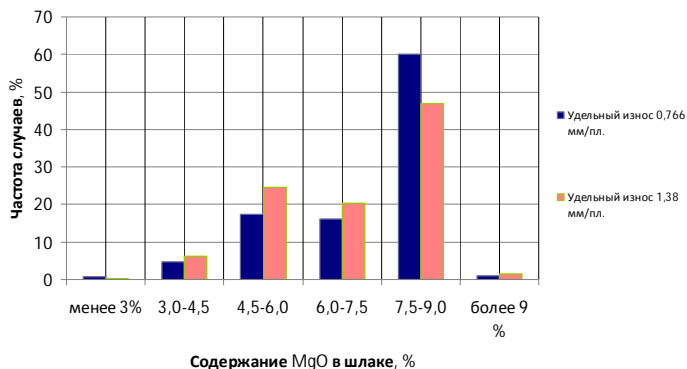


Рис. 1. Зависимость износа футеровки от содержания MgO в гомогенной составляющей шлака

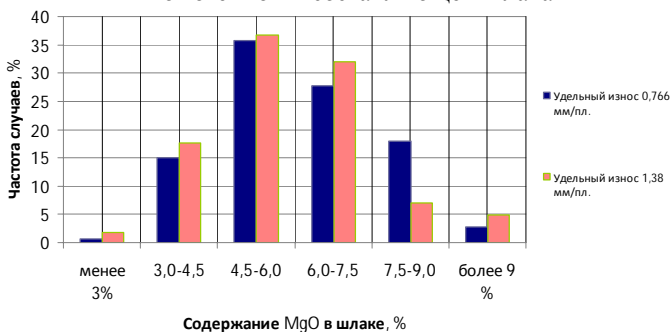


Рис. 2. Зависимость износа футеровки от содержания MgO в шлаке

Наименьший износ футеровки наблюдается при содержании MgO, как в гомогенной составляющей шлака, так и в общем объеме шлака в пределах от 7,5 до 9,0%.

Проведенный анализ показывает пределы, при которых достигается минимальный износ футеровки, однако не отвечает на вопрос, почему именно в данных пределах износ минимален, поэтому необходимо провести сравнение удельного износа футеровки по другим параметрам.

Рассмотрим влияние насыщения гомогенной составляющей шлака оксидом магния. В зависимости от содержания в шлаке таких оксидов, как CaO, SiO₂, Al₂O₃ уровень насыщения шлака по MgO может меняться. На исследуемых плавках содержание оксида магния в шлаке, при котором происходит насыщение гомогенной составляющей, находится в интервале 8,50–9,05%.

Сравним удельный износ огнеупорных изделий в сталеразливочном ковше с количеством плавков, на которых присутствовал насыщенный по MgO шлак. Зависимость удельного износа огнеупорных изделий от степени насыщения шлака MgO показана на рис. 3. Очевидно, что удельный износ футеровки сталеразливочного ковша зависит от частоты количества плавков, насыщенных в гомогенной составляющей шлака оксидом магния. С увеличением данной частоты износ уменьшается [4].

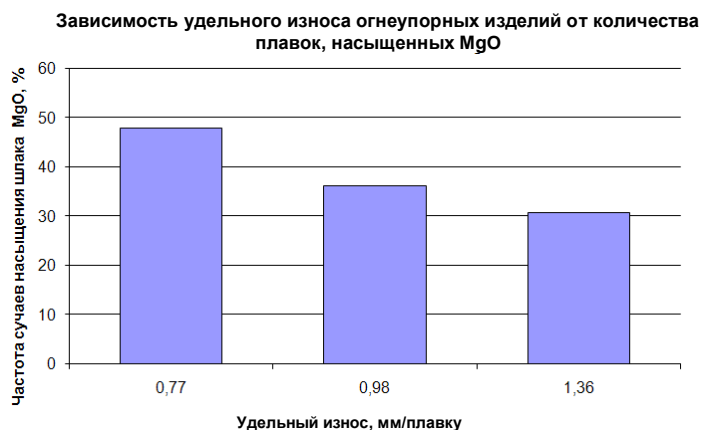


Рис. 3. Зависимость износа футеровки стальковшей от насыщенности шлака MgO

Увеличивая количество плавков со степенью насыщения шлака MgO, можно снизить удельный износ алюмопериклазоуглеродистых изделий в сталеразливочном ковше.

Исходя из проведенных исследований, можно сказать, что для снижения агрессивного воздействия шлака на футеровку стальковшей необходимо увеличивать содержание в нем MgO до предела насыщенности, но не более, т.к. излишки MgO перейдут в твердую фазу, с гетерогенизацией системы, что негативно отразится на рафинирующей способности шлака.

С увеличением содержания MgO в шлаке более 9 % система становится гетерогенной. Возможно, что при разливке металла гетерогенный шлак недостаточно хорошо покрывает защитной корочкой огнеупор, тем самым стойкость футеровки снижается.

Выводы:

1. С увеличением количества плавков, содержащих насыщенный по MgO шлак, удельный износ огнеупорных изделий уменьшается.
2. Для снижения агрессивного воздействия шлака на футеровку стальной ковшей необходимо увеличивать содержание в нем MgO до предела насыщенности, но не более, т.к. излишки MgO перейдут в твердую фазу, что связано с гетерогенизацией системы и негативно отражается как на рафинирующей способности шлака, так и стойкости футеровки стальной ковш.

Список литературы

1. Повышение стойкости футеровок металлургических агрегатов эффективный путь снижения удельных затрат на огнеупорные материалы / С.В. Филатов, Э.А. Вислогузова, М.С. Фомичев, А.В. Шкляев // Энергосберегающие технологии в промышленности. Печные агрегаты. Экология: труды VI междунар. науч.-практ. конференции. М., 2012.
2. Вислогузова Э.А., Метелкин А.А. Прогнозирование стойкости рабочей футеровки вакуум-камеры / ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат».
3. Стрелов К.К., Кашеев И.Д. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов. М.: Металлургия, 1996.
4. Рациональное наведение шлака для повышения стойкости футеровки сталеразливочных ковшей в условиях конвертерного цеха ЕВРАЗ НТМК / О.Ю. Шешуков, В.В. Левчук, С.П. Малинин, А.А. Метелкин, И.В. Некрасов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й межрегион. науч.-техн. конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. И.Г. Носова, 2012. Т.1. С. 186-189.

УДК 669.721.31

**И.М. Шатохин, Е.А. Щеголева, И.Р. Манашев,
С.П. Клочковский, А.Н. Смирнов**

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ АКТИВНОГО ОКСИДА МАГНИЯ ВЫСОКОЙ ЧИСТОТЫ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Рассмотрена возможность получения активного оксида магния высокой чистоты методом углекислотного выщелачивания из магнийсодержащего сырья. Приведены требования потребителей к оксиду магния, применяемого в металлургическом производстве. Представлена технологическая цепочка получения оксида магния углекислотным выщелачиванием.

В настоящее время активный оксид магния широко применяется в металлургическом производстве. Активный оксид магния способен вступать в реакцию на поверхности раздела фаз, что возможно благодаря фракцион-

ному составу, структуре его кристаллов и состоянием их поверхности, наличием и типом примесей, активностью по лимонной кислоте.

Достаточно высокие требования к чистоте оксида магния предъявляются в производстве активаторов спекания на основе алюмомагниевого шпинели $MgAl_2O_4$ для огнеупорных материалов. Также высокочистый оксид магния применяется в производстве титановых заготовок для предотвращения окисления их поверхности в процессе высокотемпературной (890–930°C) обработки [1].

Однако наибольший объем применения высокочистого оксида магния приходится на производство проката трансформаторных сталей.

В технологической цепочке производства проката трансформаторной стали существует стадия нанесения термостойкого покрытия. Именно на этой стадии происходит нанесение магниальной суспензии. Основные требования, предъявляемые к суспензии: хорошая адгезия, устойчивость во времени, однородность и относительно низкая скорость гидратации.

За счет нанесения термостойкого покрытия в подповерхностных слоях проката устраняется зона, обогащенная неметаллическими включениями, при высокотемпературном отжиге витки рулонов предохраняются от сваривания. Также магниальное покрытие образует на поверхности грунтовый слой, на который наносится электроизоляционное покрытие, обладающее высоким электрическим сопротивлением, что позволяет сохранить магнитные свойства стали на приемлемом уровне [2].

Основным потребителем активного оксида магния в России является ООО «ВИЗ-СТАЛЬ», г. Екатеринбург.

Для оксида магния, применяемого в качестве термостойкого покрытия, предъявляются высокие требования: содержание основного оксида не менее 99%, минимальное содержание примесей, дисперсность, минимальный размер частиц.

На сегодняшний день в мировой практике производство оксида магния осуществляется по следующим технологиям:

- известковая технология получения оксида магния из морской воды и рамп соляных озер;
- технология получения оксида магния из магнийсодержащих материалов с применением сильных кислот (соляной, серной, азотной).

Недостатками всех вариантов промышленных технологий является загрязнение атмосферы промышленными газами, содержащими CO_2 и пары SO_3 , а также сброс растворов, обогащенных $CaCl_2$. Также технологии производства данными способами довольно сложны и требуют применения дорогих реактивов, что существенно увеличивает себестоимость конечного продукта.

Поэтому перспективной является технология производства оксида магния углекислотным выщелачиванием.

Сырьем для получения оксида магния по данной технологии являются практически неограниченные запасы дешевых природных минералов – доломита, магнезита и других.

На производственной базе НТПФ «Эталон» в г. Магнитогорске проводятся исследования по получению высокочистого оксида магния с использованием существующего оборудования цеха композиционных материалов и вновь разработанного для данной технологии. В качестве исходного магнийсодержащего материала используется сырой магнезит Саткинского месторождения.

Исходный материал измельчается на щековых дробилках до фракции 0–30 мм.

Дробленый материал подвергается декарбонизации путем обжига при температуре 600–700°C по реакции



Обжиг магнийсодержащего сырья производится в опытной обжиговой печи, разработанной специально для интенсификации процесса декарбонизации сырья.

Сырой материал засыпается в реторту печи через воронку, температура нагрева поддерживается с помощью автоматизированной системы управления горелкой. Для равномерного обжига материала крышка печи оборудована устройством перемешивания. Для удаления карбонатной части минерала более 90% обжиг необходимо проводить в течение пяти часов.

Обожженный таким образом материал способен в присутствии углекислого газа растворяться в воде с образованием раствора бикарбоната магния. При более высоких температурах обжига минерал теряет активность и растворение не происходит.

Обожженный материал измельчается на вибрационной мельнице ВМ-200 до тонкодисперсного порошка. Установлено, что наилучшая реакционная способность достигается при фракции магнийсодержащего материала не более 0,1 мм.

Молотый обожженный материал подвергается углекислотному выщелачиванию. Процесс выщелачивания происходит по следующей реакции:

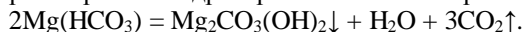


Для осуществления процесса выщелачивания оксида магния на предприятии «НТПФ «Эталон» был сконструирован специальный реактор, представляющий собой металлический сосуд объемом 600 л, способный выдерживать давление до 10 атм. Он оборудован устройством перемешивания радиального типа и подключен к вакуумному насосу, при помощи которого в реактор закачивается предварительно подготовленная пульпа, состоящая из молотого обожженного материала и воды в соотношении 1:50. Также к реактору подключена рампа из четырех углекислотных баллонов.

Реакция выщелачивания длится 2–3 ч, после чего содержимое реактора сливается в металлические емкости и отстаивается. Установлено, что остальные компоненты остаются в твердой фазе (оксид кальция переходит в раствор в незначительных количествах).

Раствор бикарбоната магния переливается в нержавеющую реторту, которая при помощи крана устанавливается в печь.

Следующим технологическим этапом является нагрев раствора бикарбоната магния. При нагревании полученного раствора до 90°C из него выпадает нерастворимый гидрокарбонат магния по реакции



После нагрева осадок (гидрокарбонат магния) отстаивается и отделяется от воды.

Далее проводится сушка гидрокарбоната магния в сушильном шкафу при 150°C для удаления избыточной влажности. После этого гидрокарбонат магния отправляется в муфельную печь для декарбонизации при температуре 600–700°C в течение 2 ч:



Таким образом:

1) На сегодняшний день создана площадка, на которой возможно производить исследования всех стадий получения оксида магния.

2) Показана принципиальная возможность получения высокочистого оксида магния методом углекислотного выщелачивания.

3) Отрицательное воздействие на окружающую среду в процессе производства сводится к минимуму посредством возможности возврата веществ в производство (планируется образовавшийся диоксид углерода после обжига очищать от пыли, компримировать и направлять на выщелачивание).

В настоящий момент нарабатывается опытная партия активного оксида магния высокой чистоты для поставки на «ВИЗ – СТАЛЬ» и проведения ими испытаний по нанесению термостойкого покрытия на прокат электротехнической стали.

Список литературы

1. О некоторых нерешенных проблемах в области производства и применения активных оксида магния и гидроксида магния / Шапоров В.П., Сердюков О.Э., Макки А.Ф., Нечипоренко Д.Д. // Технологии органических и неорганических веществ и экология. 2008. С.31–38.
2. Shimanaka H., Ichida J., Kobajashi S. et al. Effect of several stresses inducing coating in magnetostriction property of high induction 3% silicon steel // IEEE Transaction on Magnetics. 1979, vol. 15, no. 6, pp. 1595–1597.

Б.А. Буданов, Ф.Г. Хомутов

ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИЙ НАГРЕВ МЕТАЛЛА ПРИ ЦИРКУЛЯЦИОННОМ ВАКУУМИРОВАНИИ

В статье рассмотрена вакуумная обработка в циркуляционном вакууматоре с возможностью подачи кислорода с добавкой алюминия.

В процессе вакуумной обработки происходит падение температуры металла. Как правило, это снижение температуры компенсируют повышением температуры металла, выпускаемого из сталеплавильного агрегата, или последующим нагревом его после вакуумной обработки на агрегатах печь – ковш (АПК). Такой нагрев необходим, чтобы исключить науглероживание металла.

Применение кислородных фурм с одновременным вводом алюминия позволит повысить температуру металла и обеспечить нормальную разливку его без последующего нагрева.

Таким образом, количество вводимого алюминия зависит от необходимого повышения температуры металла. При этом следует учитывать естественное падение температуры металла во время вакуумирования.

Тогда

$$\Delta t_{\Sigma} = \Delta t_{\text{план}} + \Delta t_{\text{обр}},$$

где Δt_{Σ} – суммарное повышение температуры, °С;

$\Delta t_{\text{план}}$ – планируемое повышение температуры, °С;

$\Delta t_{\text{обр}}$ – падение температуры в процессе вакуумной обработки, °С.

Падение температуры металла в процессе вакуумной обработки состоит из потерь во время транспортировки сталеразливочного ковша с металлом к вакуумному агрегату ($\Delta t_{\text{тран}}$) и вакуумной обработки металла ($\Delta t_{\text{вак}}$).

$$\Delta t_{\text{обр}} = \Delta t_{\text{тран}} + \Delta t_{\text{вак}};$$

$$\Delta t_{\text{тран}} = \alpha_{\text{тран}} \cdot \tau_{\text{тран}};$$

$$\Delta t_{\text{вак}} = \alpha_{\text{вак}} \cdot \tau_{\text{вак}};$$

где $\alpha_{\text{тран}}$ – потери температуры металла в сталеразливочном ковше при транспортировке, °С/мин;

$\tau_{\text{тран}}$ – время транспортировки сталеразливочного ковша с металлом, мин;

$\alpha_{\text{вак}}$ – потери температуры металла в сталеразливочном ковше при вакуумировании металла, °С/мин;

$\tau_{\text{вак}}$ – время вакуумирования, мин.

Общее время вакуумирования

$$\tau_{\Sigma} = \tau_{\text{тран}} + \tau_{\text{вак}}.$$

Время вакуумной обработки $\tau_{\text{вак}}$ можно рассчитать по формуле

$$\tau_{\text{вак}} = \tau_{\text{разр}} + \tau_{\text{прод.}O_2} + \tau_{\text{атм}}$$

где $\tau_{\text{разр}}$ – время достижения в вакуумной камере разрежения 100–150 мм рт.ст., мин;

$\tau_{\text{прод.}O_2}$ – время, необходимое для присадки алюминия и вдувания определённого расхода кислорода на окисления алюминия, мин;

$\tau_{\text{атм}}$ – время, необходимое для выравнивания давления в вакуумной камере до атмосферного, мин.

Время, необходимое для подачи определённого количества кислорода, определяется по формуле

$$\tau_{\text{прод.}O_2} = \frac{V_{O_2} \cdot 60}{I_{O_2}},$$

где V_{O_2} – необходимый объём кислорода на окисление алюминия, м³;

I_{O_2} – интенсивность продувки кислородом в процессе вакуумирования, м³/ч.

Количество кислорода (V_{O_2}), которое необходимо подать на окисление введённого алюминия, можно рассчитать из реакции



На один килограмм алюминия по данной реакции будет расходоваться кислорода

$$\frac{48}{54} \cdot \frac{22,4}{32} = 0,622 \text{ м}^3.$$

При продувке в вакууме не весь вдуваемый кислород будет расходоваться, поэтому нужно ввести коэффициент, учитывающий степень использования кислорода при вдувании его в процессе вакуумной обработки (η_{O_2}).

Для приближённых расчётов степень использования кислорода можно принять в пределах от 0,5 до 0,9, в зависимости от многих технологических факторов, например разного положения кислородной фурмы, достигнутого разрежения в вакуум камере и др.

Тогда объём вдуваемого кислорода на окисление алюминия составит

$$V_{O_2} = g_{Al,нагр.} \cdot \frac{0,622}{\eta_{O_2}},$$

где $g_{Al,нагр.}$ – расход алюминия на нагрев металла до требуемой температуры, кг.

Используя вышеприведённые уравнения, можно рассчитывать расход алюминия для нагрева металла в процессе вакуумирования:

$$g_{Al,нагр.} = \beta_{нагр.} \cdot G_m \cdot \left[\frac{\Delta t_{план.} + (\alpha_{тран.} \cdot \tau_{тран.}) + \alpha_{вак.} \cdot (\tau_{разр.} + \tau_{атм.})}{1 - \left(\beta_{нагр.} \cdot G_m \cdot \alpha_{вак.} \cdot \frac{0,622}{\eta_{O_2}} \cdot \frac{60}{I_{O_2}} \right)} \right]. \quad (1)$$

Коэффициент нагрева металла может быть определён на основе термодинамических расчётов и баланса тепловых процессов различных стадий.

Баланс показал, что при окислении одного килограмма алюминия выделяется около 27500 кДж тепла.

Средняя теплоёмкость чистого железа при 1600°C может быть приблизительно принята равной 830 кДж/(Т·К). Следовательно, для нагрева одной тонны стали на 1°C необходимо затратить $830/27500=0,030$ кг алюминия.

По приведённой выше схеме произведён расчёт расхода алюминия для экзотермического нагрева металла при вакуумной обработке его на 350 т в циркуляционном вакууматоре (RH), а также определена длительность нагрева.

Исходные данные для расчёта:

$$\Delta t_{план} = 15^\circ C; G_m = 350 \text{ т}; \alpha_{тран} = 0,7^\circ C / \text{мин}; \alpha_{вак} = 1,0^\circ C / \text{мин};$$

$$\beta_{нагр} = 0,030 \text{ кг Al} / (\text{т} \cdot ^\circ C); \tau_{тран} = 10 \text{ мин}; \tau_{разр} = 1 \text{ мин};$$

$$\tau_{атм} = 2 \text{ мин}; I_{O_2} = 2000 \text{ м}^3 / \text{ч}; \eta_{O_2} = 0,5 - 0,9.$$

По формуле (1) определим знаменатель

$$\left[1 - \left(0,030 \cdot 1 \cdot 350 \cdot \frac{0,622 \cdot 60}{(0,5 \dots 0,9) \cdot 2000} \right) \right] = 0,608 \dots 0,782.$$

Числитель $15 + 0,7 \cdot 10 + 1 \cdot (1 + 2) = 25^\circ C$.

$$g_{Al,нагр} = 0,030 \cdot 350 \cdot \frac{25}{(0,608 \dots 0,782)} = 431,7 \dots 335,6 \text{ кг Al};$$

$$V_{O_2} = (431,7...335,6) \cdot \frac{0,622}{(0,5...0,9)} = 537,0...231,9 \text{ м}^3;$$

$$\tau_{\text{вак.}} = \frac{(537,0...335,6) \cdot 60}{2000} + 1 + 2 = 19,11...9,9 \text{ мин.}$$

Список литературы

1. Морозов А.Н., Стрекаловский М.М., Чернов Г.И.. Внепечное вакуумирование стали. М.: Металлургия, 1983. 288 с.
2. Явойский В.И. и др. Металлургия стали: учебник для вузов. М.: Металлургия, 1983. 584 с.
3. Явойский В.И. Теория процессов производства стали. М.: Металлургия, 1967. 792 с.

УДК 669.046.546.2

А.М. Столяров, К.В. Синицких

ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВА КОНВЕРТЕРНОГО ШЛАКА, ПОПАДАЮЩЕГО В КОВШ ПРИ ВЫПУСКЕ МЕТАЛЛА ИЗ АГРЕГАТА

Рассчитано количество конвертерного шлака, попадающего в ковш из агрегата для условий кислородно-конвертерного цеха ОАО «ММК». Широкий диапазон изменения количества конвертерного шлака в ковше свидетельствует о недостаточной надежности используемого в цехе метода отсечки шлака. Попадание шлака из конвертера в ковш ведет к дополнительному расходу вторичного алюминия для раскисления шлака.

Попадание конвертерного шлака из агрегата в сталеразливочный ковш оказывает негативное воздействие на десульфурацию металла твердой шлакообразующей смесью [1]. Это связано с высоким содержанием оксидов железа в конвертерном шлаке. В кислородно-конвертерном цехе ОАО «ММК» отсечка шлака в процессе выпуска металла из конвертера осуществляется методом «подрыва струи». Покровный шлак в сталеразливочном ковше наводится присадкой твердой шлакообразующей смеси, состоящей из извести и плавикового шпата. Информация о количестве конвертерного шлака, попадающего в ковш при выпуске металла, отсутствует. В настоящей работе предпринята попытка количественной оценки конвертерного шлака, оказавшегося в ковше.

Рассчитать количество конвертерного шлака, попавшего в ковш при выпуске металла из конвертера, возможно с использованием формулы [2]

$$g_{\text{тис}} = \frac{100([S]_{\text{н}} - [S]_{\text{к}}) - g_{\text{шл}}^{\text{кон}} (L_S^{\text{к}} [S]_{\text{к}} - L_S^{\text{кон}} [S]_{\text{н}})}{L_S^{\text{к}} [S]_{\text{к}} - (S)_{\text{тис}}}, \quad (1)$$

где $g_{\text{тис}}$ – количество твердой шлакообразующей смеси, %;

$g_{\text{шл}}^{\text{кон}}$ – количество конвертерного шлака, попадающего в ковш, %;

$[S]_{\text{н}}, [S]_{\text{к}}$ – содержание серы в металле до и после обработки твердой шлакообразующей смесью, %;

$L_S^{\text{к}}, L_S^{\text{кон}}$ – коэффициент распределения серы в ковше и в конвертере;

$(S)_{\text{тис}}$ – содержание серы в твердой шлакообразующей смеси, %.

Из формулы (1) путем несложных математических преобразований получается следующее уравнение:

$$g_{\text{шл}}^{\text{кон}} = \frac{100([S]_{\text{н}} - [S]_{\text{к}}) - g_{\text{тис}} [L_S^{\text{к}} [S]_{\text{к}} - (S)_{\text{тис}}]}{L_S^{\text{к}} [S]_{\text{к}} - L_S^{\text{кон}} [S]_{\text{н}}}. \quad (2)$$

Для получения исходных данных, необходимых при расчете количества конвертерного шлака, был сформирован массив из 50 плавков трубной стали класса прочности К56, К60, К65 (74% объема массива) и углеродистой стали (26%). По каждой плавке имелась информация о химическом составе как металла, так и шлака перед выпуском металла из конвертера и после его раскисления в ковше, а также о количестве введенных в ковш извести и плавикового шпата. С использованием этих производственных данных по каждой плавке расчетным путем были определены значения коэффициента распределения серы между металлом и шлаком в конвертере и в ковше. В таблице приведена информация о значениях параметров, использованных для расчета количества конвертерного шлака.

Значения параметров для расчета количества конвертерного шлака

Параметр	Значение параметра		
	Минимальное	Среднее	Максимальное
Количество твердой шлакообразующей смеси (ТШС), %	0,61	1,02	1,35
Содержание серы в металле до обработки ТШС, %	0,009	0,018	0,026
Содержание серы в металле после обработки ТШС, %	0,006	0,012	0,023
Коэффициент распределения серы в конвертере	2,4	4,0	6,6
Коэффициент распределения серы в ковше	8,6	36,6	82,2

Содержание серы в твердой шлакообразующей смеси было принято равным 0,05%.

По каждой плавке с использованием уравнения (2) было рассчитано количество конвертерного шлака, попавшего в сталеразливочный ковш при выпуске металла из конвертера. Диапазон рассчитанных значений составил от 0,06 до 1,63%, в среднем – 0,79% или 0,6–16,3 кг/т и в среднем – 7,9 кг/т. Частотное распределение количества конвертерного шлака в ковше показано на рис. 1.

Наиболее часто – в 44 % случаев, отмечается попадание из конвертера в ковш шлака в количестве от 6 до 9,9 кг/т.

Данный шлак вносит значительное количество оксидов железа, для раскисления которых потребуется дополнительное количество алюминия. На рис. 2 приведена зависимость дополнительного количества вторичного алюминия, которое потребуется для раскисления конвертерного шлака, попавшего в ковш при выпуске металла из агрегата, от количества этого шлака и содержания в нем оксидов железа.

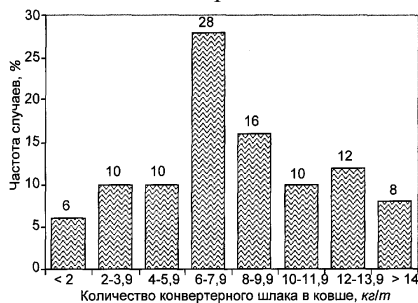


Рис. 1. Частотное распределение количества конвертерного шлака, попавшего в ковш при выпуске металла из конвертера

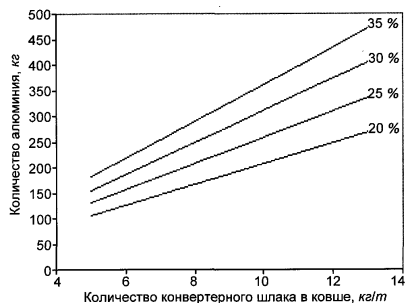


Рис. 2. Расчетная зависимость дополнительного количества вторичного алюминия для раскисления шлака в ковше от количества конвертерного шлака, попавшего в ковш при выпуске металла, и содержания оксидов железа в шлаке (цифры у линий)

Широкий диапазон изменения количества конвертерного шлака в ковше вызывает и большие колебания расхода вторичного алюминия, например при содержании в шлаке 25 % FeO, – от 129 до 336 кг, то есть увеличение количества раскислителя составляет 207 кг.

Таким образом, в условиях кислородно-конвертерного цеха ОАО «ММК» при выпуске металла из агрегата в ковш попадает конвертерный шлак в количестве 0,6 – 16,3 кг/т или в среднем 7,9 кг/т. Широкий диапазон изменения количества конвертерного шлака в ковше свидетель-

ствует о недостаточной надежности используемого в цехе метода отсечки шлака «подрыв струи», эффективность которого во многом зависит от квалификации обслуживающего персонала. Попадание шлака из конвертера в ковш ведет к дополнительному расходу вторичного алюминия для раскисления шлака.

Список литературы

1. Буданов Б.А., Синицких К.В. Десульфурация металла в ковше твердыми шлакообразующими смесями // Литейные процессы: сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. Вып. 11. С. 102–107.
2. Бигеев А.М., Бигеев В.А. Металлургия стали. Теория и технология плавки стали. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И.Носова, 2000. 544 с.

УДК 669:18.001

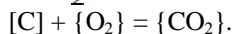
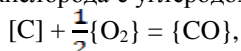
Т.А. Филатова, Ю.А. Колесников

ОСОБЕННОСТИ ОКИСЛЕНИЯ УГЛЕРОДА В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ ПОДАЧИ ДУТЬЯ

Представлены результаты расчётов некоторых параметров конвертерной плавки в зависимости от содержания CO_2 в газе из реакционной зоны, степени дожигания CO в реакционной зоне и доли поступления тепла на нагрев металла от этого дожигания при разных способах подачи дутья.

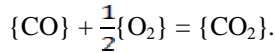
Реакцию окисления углерода часто называют основной реакцией сталеплавильных процессов. При окислении (выгорании) углерода происходит так называемое *кипение металла* в результате выделения пузырями CO . В процессе кипения происходят перемешивание металла, выравнивание его химического состава и температуры, увеличивается площадь соприкосновения металла со шлаком, что, в свою очередь, ускоряет протекание всех процессов на границе шлак–металл, из металла удаляются газы и неметаллические включения [1].

Окисление углерода происходит в течение всего периода продувки. При взаимодействии струи кислорода с углеродом происходят реакции:



80–95% углерода окисляется до CO преимущественно по первой реакции, а оставшиеся 5–20% углерода до CO_2 .

Кроме указанных выше основных реакций, в конвертере с верхней продувкой получает развитие реакция частичного *дожигания* CO до CO_2 над ванной:



Скорость окисления углерода определяется интенсивностью подачи кислорода. Для образования пузырькой СО и соответственно протекания реакции обезуглероживания нужен определенный уровень перегрева металла над линией ликвидуса. В особенности заметно воздействие температуры при перегреве более 100°С. Так как реакция идет преимущественно в зоне воздействия струй кислорода, то условия ее протекания значительно зависят и от конструкции фурмы.

Таким образом, по мере увеличения температуры металла и понижения концентрации примесей, имеющих высокое сродство к кислороду, как кремний и марганец, скорость окисления углерода растет и через 5–7 мин после начала продувки достигает наибольшего значения. Степень полезного использования кислорода в этот момент приближается к 100%. Для того чтобы в этот период плавки создать условия выделения СО и обеспечить наибольшее внедрение подаваемого кислорода для окисления углерода (а не железа), фурму несколько опускают, струи кислорода более активно внедряются в металл, площадь поверхности раздела окислительный газ – металл резко растет. Условия протекания реакции окисления углерода оказываются благоприятными: на окисление углерода в эти моменты расходуется больше кислорода, чем подается через фурму (отчасти расходуются оксиды железа шлама). Так длится 5–10 мин (в зависимости от интенсивности подачи кислорода) до момента, когда концентрация углерода снизится до ~0,10%, и скорость окисления углерода при всем этом резко понижается [2].

В настоящее время отсутствуют способы прямого измерения состава конвертерного газа, образующегося в реакционной зоне, степени дожигания СО до СО₂ в газовой фазе, доли тепла от дожигания СО в тепловом балансе плавки. Эти параметры можно определить расчётом по математической модели периода продувки конвертерной плавки при различных режимах подачи дутья. С этой целью разработана математическая модель периода продувки, составленная на основе уравнений материального и теплового балансов плавки, включающих массу, состав и температуру металла, шлама и газа [3, 4].

В качестве базового варианта были использованы усреднённые параметры производственных данных выплавки стали марки 08Ю в условиях кислородно-конвертерного цеха ОАО «ММК» для регламентированной технологической инструкции параметров дутьевого режима.

Расчёты производились в электронных таблицах Microsoft Excel путём совместного решения балансовых уравнений методом итераций [5].

Результаты расчётов некоторых параметров конвертерной плавки в зависимости от содержания СО₂ в газе из реакционной зоны, степени дожигания СО в реакционной зоне и доли поступления тепла на нагрев металла от этого дожигания представлены на рис. 1–4.

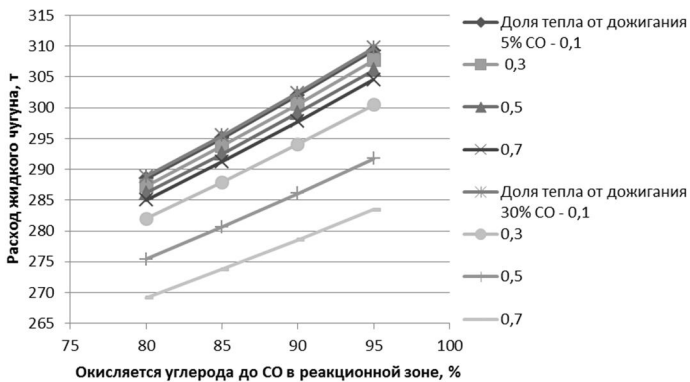


Рис. 1. Изменение расхода жидкого чугуна от развития реакции окисления углерода

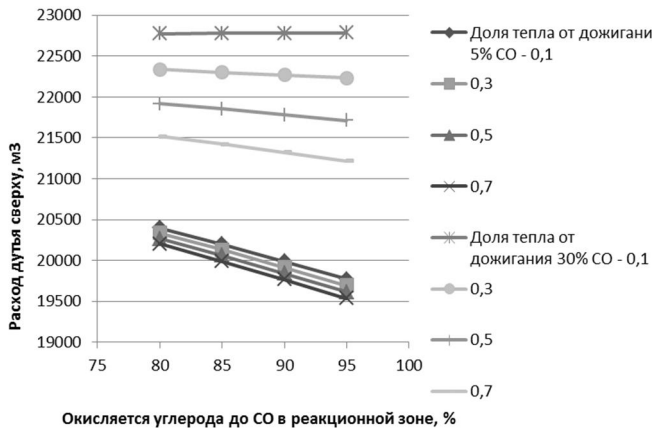


Рис. 2. Изменение расхода дутья от развития реакции окисления углерода

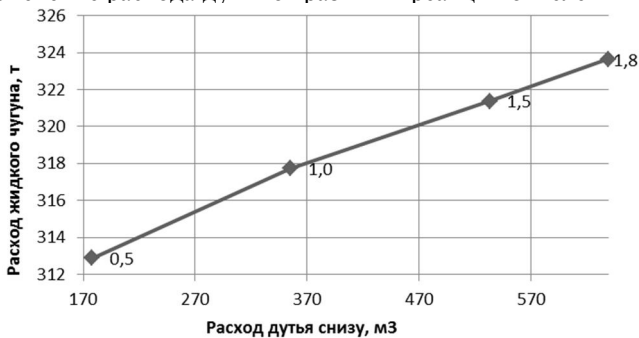


Рис. 3. Влияние расхода инертного газа, подаваемого в конвертерную ванну снизу, на расход жидкого чугуна

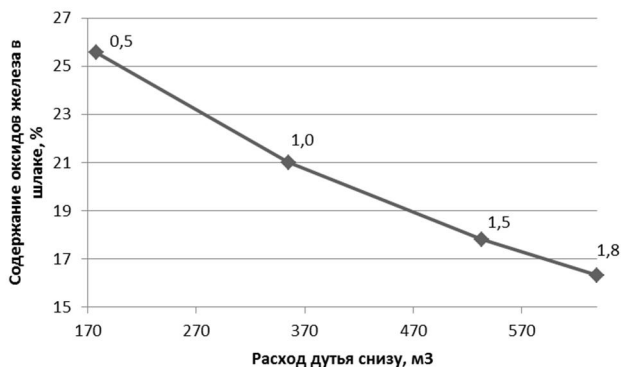


Рис. 4. Изменение содержания оксидов железа в шлаке при различных расходах дутья снизу

Список литературы

1. Бигеев А.М., Бигеев В.А. *Металлургия стали. Теория и технология плавки стали: учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп.* Магнитогорск: МГТУ им. Г.И.Носова, 2000. 544 с.
2. Кудрин В.А. *Теория и технология производства стали: Учебник для вузов.* М.: Мир; ООО «Издательство АСТ», 2003. 528 с., ил.
3. Филатова Т.А., Колесникова Ю.А. Влияние условий окисления углерода на показатели выплавки стали в конвертере // *Литейные процессы: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева.* Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. Вып. 11. С. 63–71.
4. Колесников Ю.А., Буданов Б.А., Сергеев Д.С. Структура и размеры реакционной зоны при подаче кислородного дутья в металлический расплав сверху // *Литейные процессы: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева.* Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. Вып. 10. С. 68–73.
5. Колесников Ю.А. Расчет расхода лома на плавку стали в конвертере с использованием электронных таблиц // *Теория и технология металлургического производства. Межрегиональный сб. науч. трудов / под ред. В.М. Колокольцева.* – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2006. Вып. 6. С. 34–39.

А.В. Коротин, Э.В. Дюльдина

ШЛАКООБРАЗОВАНИЕ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ МНЛЗ

Исследовано влияние футеровки промежуточного ковша МНЛЗ на процесс шлакообразования при разливке трех серий опытных плавов. Рассмотрены факторы, влияющие на температуру плавления шлака.

В настоящее время промежуточный ковш МНЛЗ начинает выполнять функции по окончательному рафинированию стали от неметаллических включений. В выполнении этой функции важную роль играет шлак, получаемый из шлакообразующих смесей.

Для изучения особенностей шлакообразования при разливке стали различного марочного сортамента с использованием шамотной и магнезиальной футеровки промежуточного ковша МНЛЗ в кислородно-конвертерном цехе ОАО «ММК» было проведено специальное исследование. Оно состояло в разливке трех серий опытных плавов. В двух сериях опытов при использовании промежуточного ковша с шамотной футеровкой разливали сталь марок 08пс и 17Г1С-У, а в третьей – сталь марки 08Ю при использовании ковша с футеровкой из магнезиальной торкрет-массы. При разливке опытных плавов контролировали расход и состав ШОС, а также изменение химического состава образующегося шлака. Основные данные, характеризующие экспериментальную часть исследования, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные параметры проведения экспериментов

Номер серии	Материал футеровки*	Марка стали	Количество плавов в серии	Масса стали, т	Длительность разливки, ч	Расход ШОС, кг/т стали
1	ШК	08пс	9	3291	7,7	0,20
2	ШК	17Г1С-У	5	1875	6,8	0,22
3	ТМ	08Ю	10	3722	8,6	0,25

* ШК – шамотный кирпич, ТМ – магнезиальная торкрет-масса.

В табл. 2 приведены данные о химическом составе исходной шлакообразующей смеси и шлака, сформировавшегося в конце разливки каждой серии.

Из данных табл. 2 следует, что при практически одинаковом химическом составе исходной шлакообразующей смеси состав конечного шлака во всех сериях опытов существенно отличался. Сопоставление содержания оксидов кремния, алюминия, марганца и магния в исходной смеси и шлаке дает основание считать, что изменение состава шлака в

процессе разливки связано с растворением в нем футеровки промежуточного ковша и поступлением неметаллических включений, всплывающих из разливаемого металла.

Таблица 2

Содержание основных компонентов в шлакообразующей смеси (числитель) и в конечном шлаке (знаменатель)

Номер серии	Содержание, %					
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	F
1	<u>38,9</u>	<u>30,7</u>	<u>9,0</u>	<u>5,0</u>	<u>0</u>	<u>2,4</u>
	26,2	26,9	28,5	3,8	4,3	2,0
2	<u>38,0</u>	<u>30,4</u>	<u>9,1</u>	<u>4,7</u>	<u>0</u>	<u>2,7</u>
	14,8	32,9	27,3	1,6	14,5	1,6
3	<u>39,8</u>	<u>29,4</u>	<u>8,1</u>	<u>4,3</u>	<u>0</u>	<u>3,1</u>
	22,7	26,8	24,8	14,0	4,1	3,0

Для количественной оценки влияния на шлакообразование указанных выше факторов была разработана специальная методика анализа полученных экспериментальных данных*. Её основная идея состоит в том, что если известны, с одной стороны, химический состав и расход ШОС, а с другой – химический состав образовавшегося шлака, то можно рассчитать, в каком количестве в шлак поступали футеровка и неметаллические включения в процессе разливки.

На рис. 1 представлены результаты расчетов участия разных источников в формировании конечного шлака. Как видно из этого рисунка, основную роль в изменении химического состава шлака играет всплывание неметаллических включений. При разливке низкоуглеродистой стали (серии 1 и 3) в шлак промежуточного ковша поступают неметаллические включения в количестве 0,0097% от массы разлитого металла. Неметаллические включения содержат 59% Al₂O₃, по 17% SiO₂ и MnO и 7% FeO. Доля всплывших неметаллических включений в конечном шлаке составляет в среднем 30%.

При разливке низколегированной стали (серия 2) поступление в шлак неметаллических включений в три раза больше – 0,0298% от массы разлитого металла. Они содержат 39% Al₂O₃, 34% SiO₂ и 27% MnO. Их доля в конечном шлаке превышает 50%.

Поступление в шлак неметаллических включений и растворение в нем футеровки промежуточного ковша изменяет температуру плавления шлака. Результаты определения температуры плавления шлака представлены на рис. 2. Из этого рисунка следует, что температура плавления шлака при разливке повышается, причем в большей степени при использовании промежуточного ковша, имеющего магниезильную футеровку.

* Дюльдина Э.В., Селиванов В.Н., Лозовский Е.П. Формирование шлака в промежуточном ковше МНЛЗ // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2009. №4(28). С. 26-29.

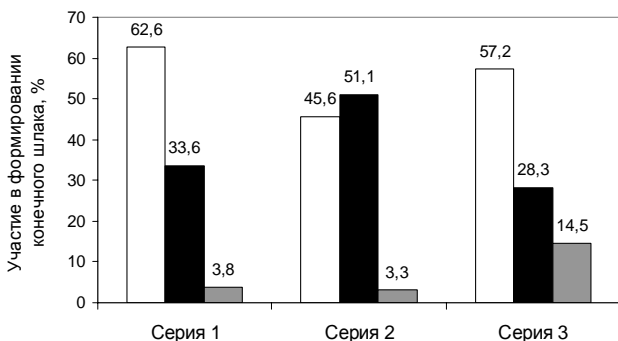


Рис. 1. Участие в формировании конечного шлака шлакообразующей смеси (□), неметаллических включений (■), футеровки промежуточного ковша (■)

Участие шамотной футеровки в шлакообразовании невелико (3–4%), а её растворение не оказывает существенного влияния на химический состав шлака. Футеровка из магнезиальной торкрет-массы переходит в шлак в значительно большем количестве – около 15%, что приводит к существенному возрастанию содержания MgO в шлаке и повышению температуры его плавления (рис. 2).

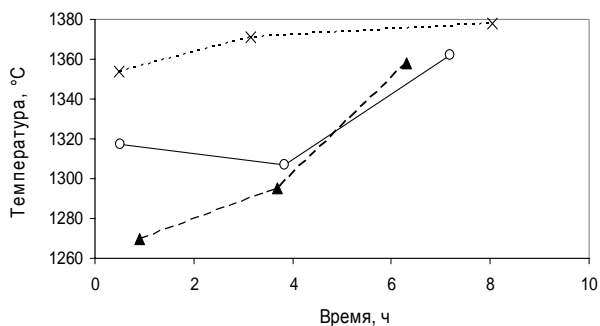


Рис. 2. Изменение температуры плавления шлака в процессе разливки металла 1-й (—○—), 2-й (—▲—) и 3-й (·····×·····) серий плавов

Результаты исследования позволяют сделать вывод о том, что технологически футеровка из шамотного кирпича не уступает футеровке из магнезиальной торкрет-массы.

Е.А. Шевченко, А.М. Столяров, А.Н. Шаповалов

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ УЗКИХ ГРАНЕЙ СЛЯБОВОЙ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ БЕЗ ДЕФЕКТА «ВЫПУКЛОСТЬ»

Установлена зависимость толщины корочки затвердевшего металла на выходе из поддерживающей системы на раме кристаллизатора от отношения ширины к толщине слябов из трубной стали. На основании проведенных расчетов сделаны рекомендации для получения корочки достаточной толщины, гарантирующей отсутствие образования выпуклости узких граней непрерывнолитой заготовки.

В ОАО «Уральская Сталь» слябовая непрерывнолитая заготовка с размерами поперечного сечения 190, 270×1200 мм отливается на одноручьевой МНЛЗ фирмы «SMS Demag». Машина криволинейного типа с вертикальным участком имеет базовый радиус 10,5 м и металлургическую длину 30,305 м. Вместимость сталеразливочного и промежуточного ковшей равняется 120 и 25 т. Высота вертикального кристаллизатора составляет 900 мм. По проекту на раме кристаллизатора имеется поддерживающая система, состоящая из четырех роликов, расположенных в один ряд для поддержки каждой грани заготовки. Зона вторичного охлаждения состоит из 17 секций. Наиболее проблемным оказалось получение качественного горячекатаного листа толщиной 8–50 мм из слябов толщиной 270 мм, вытягиваемых из кристаллизатора со средней скоростью 0,9 м/мин. При анализе качества металла угловых темплетов, вырезанных из слябов такой толщины 303 плавок, было установлено, что 65 % (отн.) всех темплетов имеют выпуклость узких граней величиной 2–12 мм. Выпуклость узких граней является внешним признаком наличия внутри сляба повышенной степени развития осевой рыхлости, осевой химической неоднородности, трещин, что вызывает возрастание отбраковки листового проката по результатам ультразвукового контроля [1]. Увеличение протяженности поддержки узких граней отливаемых заготовок путем использования дополнительных трех роликов без изменения температурно-скоростного режима разливки привело к небольшому снижению выпуклости слябов толщиной 270 мм, но в целом проблему не решило. Известно, что причиной образования выпуклости граней непрерывнолитой заготовки является недостаточная толщина корочки на выходе из поддерживающей системы кристаллизатора, которая существенным образом зависит от температурно-скоростного режима разливки и протяженности поддерживающих элементов [2].

В настоящей работе проанализированы условия получения узких граней слябовой заготовки сечением 270×1200 мм без дефекта «выпуклость». Для этого был произведен расчет толщины корочки затвердевшего металла на выходе из поддерживающей системы кристаллизатора в

тех случаях, когда выпуклость узких граней непрерывнолитых слябов не образовывалась. На данной МНЛЗ это наблюдалось при отливке слябов сечением 190×1200 мм со скоростью вытягивания 1,25 м/мин при использовании двух вариантов поддерживающей системы узкой грани заготовки, состоящей из одного ролика (на расстоянии 120 мм от низа кристаллизатора) – проектный вариант и из четырех роликов (на удалении 630 мм) – измененный вариант.

Кроме того, был использован опыт разливки металла аналогичного сортамента – низкоуглеродистой марганцовисто-кремнистой (трубной) стали на одноручьевой МНЛЗ криволинейного типа с вертикальным участком, эксплуатирующейся в кислородно-конвертерном цехе ОАО «ММК». На этой машине кристаллизатор также имеет высоту 900 мм. Узкая грань сляба на выходе из него поддерживается двумя роликами (на расстоянии 290 мм ниже кристаллизатора). Рассмотрена отливка слябов одинаковой ширины 1400 мм (наиболее близкой к ширине слябов, отливаемых в ОАО «Уральская Сталь») и разной толщины: 190, 250 и 300 мм со скоростью вытягивания заготовок в диапазоне от 0,75 до 1,3 м/мин в зависимости от толщины слябов и величины перегрева металла над температурой ликвидус в промежуточном ковше МНЛЗ.

Расчет толщины корочки затвердевшего металла выполнялся по известной формуле квадратного корня. Для определения величины коэффициента затвердевания металла k_3 (мм/мин^{0,5}) использовалась зависимость от величины перегрева металла в промежуточном ковше $\Delta t_{\text{пк}}$ (°С), полученная в работе [3] для условий разливки в ОАО «ММК» трубной перитектической стали с содержанием углерода 0,08–0,15%.

$$k_3 = 24,948 - 0,0171 \Delta t_{\text{пк}}.$$

При проведении расчетов величина перегрева металла изменялась в интервале 10–35°С.

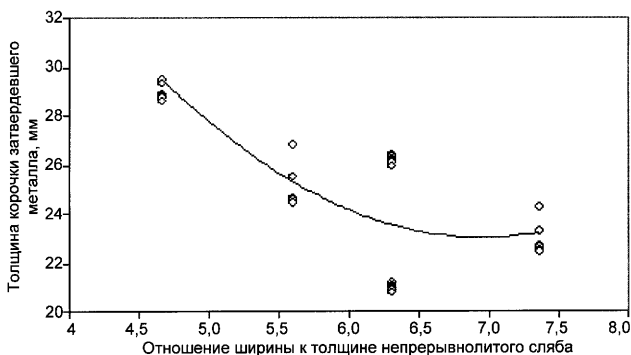
Результаты расчетов толщины корочки затвердевшего металла на выходе из поддерживающей системы на раме кристаллизатора в зависимости от отношения ширины отливаемого сляба к его толщине представлены на рисунке.

На рисунке показаны расчетные данные для слябов ОАО «ММК» сечением 300×1400, 250×1400, 190×1400 мм с отношением ширины к толщине 4,7, 5,6 и 7,4 соответственно, а также для слябов ОАО «Уральская Сталь» сечением 190×1200 мм с отношением ширины к толщине 6,3 при проектном и измененном вариантах поддержки заготовки.

С уменьшением отношения ширины к толщине непрерывнолитого сляба на затвердевшую корочку узких граней заготовки оказывается все возрастающее распирающее давление жидкого металла, которому может противостоять корочка увеличенной толщины.

Зависимость толщины корочки затвердевшего металла (ξ , мм) от отношения ширины к толщине слябовой заготовки (v/a) по тридцати расчетным значениям имеет следующий вид:

$$\xi = 1,3(v/a)^2 - 17,7(v/a) + 84,2, \quad \eta = 0,782.$$



Расчетная зависимость толщины корочки затвердевшего металла на выходе из поддерживающей системы на раме кристаллизатора от отношения ширины к толщине отливаемого сляба

Корочка затвердевшего металла данной толщины обеспечивает получение бездефектной узкой грани отливаемых слябовых заготовок.

С использованием выявленной зависимости для слябов ОАО «Уральская Сталь» сечением 270×1200 мм с отношением ширины к толщине, равным 4,44, методом экстраполяции можно определить требуемую толщину корочки затвердевшего металла, равную 31,24 мм. С учетом возможных отклонений следует принять толщину корочки, гарантирующую отсутствие выпуклости узких граней, величиной 31,5 мм.

Для получения корочки такой толщины при использовании измененной поддерживающей системы на раме кристаллизатора, состоящей из четырех роликов, и жестких условий разливки перегретого металла (величина перегрева над температурой ликвидус составляет 35°C) скорость вытягивания сляба сечением 270×1200 мм из кристаллизатора должна быть снижена с 0,9 до 0,84 м/мин. Такой вариант нежелателен, так как приведет к снижению производительности одноручьевой слябовой МНЛЗ.

Другим решением при разливке металла со скоростью 0,9 м/мин может быть увеличение протяженности поддерживающей системы узких граней заготовки до расчетной величины, равной 0,74 м. С учетом конструктивных размеров используемых роликов для этого следует установить дополнительно еще один ролик и тогда поддержка будет осуществляться на расстоянии 0,804 м от низа кристаллизатора.

Список литературы

1. Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. Изучение качества слябовой заготовки, отлитой на криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №1 (41). С. 27–30.

2. Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. Влияние температуры разливаемого металла на качество непрерывнолитого сляба и листового проката // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. Вып.12. С. 68–74.
3. Мошкунов В.В., Столяров А.М. Корректировка скорости вытягивания слябов из трубной стали, отливаемых на МНЛЗ с мягким обжатием // Литейные процессы: межрегион. сб. науч. тр. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. Вып.11. С. 146–151.

УДК 538. 9

А.Х. Хайруллин, А.А. Ицкович, С.Н. Жевненко, А.О. Родин

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗЕРНОГРАНИЧНОЙ ДИФфуЗИИ НИКЕЛЯ В МЕДНО-КОБАЛЬТОВЫЕ СПЛАВЫ

Исследована зернограницная диффузия никеля в медно-кобальтовые сплавы с различной концентрацией кобальта. Получена зависимость фишеровской длины от концентрации кобальта в сплаве.

Изучение объемной диффузии и диффузии по границам зерен (ЗГД) в металлах представляет значительный интерес как с фундаментальной, так и с практической точки зрения. Обычно границы зерен (ГЗ) являются путями ускоренного проникновения диффундирующих компонентов [1-3]. Однако в ряде систем наблюдается аномальное поведение зернограницной диффузии. Так, недавно был обнаружен эффект отсутствия опережающей ЗГД в системах Fe в Cu [4] и Co в Cu [5]. Исследование ЗГД методом микрорентгеноспектрального анализа на образцах с постоянным источником диффузанта (Fe, Co) не выявило сколь-нибудь существенного изменения концентрационного профиля вблизи границ зерен, по сравнению с объемом зерна. В качестве возможных причин такого поведения предложены две: а) существенное снижение диффузионной подвижности атомов кобальта или железа в границах зерен меди; б) изменение структуры границ зерен в результате взаимодействия растворенных примесей (Fe, Co) с ГЗ. Для ответа на этот вопрос в нашей работе были проведены эксперименты по изучению ЗГД никеля в медно-кобальтовые сплавы. Никель был выбран в связи с тем, что этот компонент имеет практически нулевую избыточную энергию смещения Гиббса с медью и кобальтом и образует с медью и кобальтом непрерывный ряд твердых растворов [6].

Описание эксперимента

Для проведения диффузионных исследований были приготовлены сплавы с содержанием кобальта 0.39, 0.79, 1.31, 2.26, 3.24 масс. % из меди и кобальта чистотой 4N5. Образцы сплавляли в атмосфере водорода при

температуре 1150°C. Сплавы деформировали осадкой на 70%, а затем из них вырезали образцы в форме пластин толщиной и шириной 3–5 мм и длиной 20 мм. Поверхность подготавливали путем шлифовки, полировки с использованием оборудования фирмы Buehler. Перед нанесением никеля образцы отжигали при температуре 700°C для гомогенизации состава, релаксации напряжений и очистки поверхности в атмосфере сухого водорода. Среднее время отжига составляло 100 ч. Охлаждение образцов производилось путем закаливания на воздухе. На поверхность медно-кобальтовых образцов наносили никель электролитическим методом. В качестве анода использовался никель чистотой 3N. Водный электролит готовили добавлением в дистиллированную воду сульфата никеля 250 г/л, борной кислоты (30 г/л) и хлорида натрия (10 г/л). Условия нанесения подбирали таким образом, чтобы покрытие получалось равномерным, блестящим. Оценка толщины слоя никеля из закона Фарадея показала, что толщина нанесенного слоя составила около 20 мкм. После нанесения образцы отжигали в кварцевых ампулах, вакуумированных до 10^{-3} мм рт.ст. Температура диффузионного отжига была выбрана 650°C, длительность – 360 ч. После отжига образцы разрезали вдоль направления диффузии, поверхность для исследования шлифовали, полировали, а затем химически травили 40% водным раствором аммиака с добавлением 1–2% водного раствора 10%-ого пероксида водорода. Подготовленные шлифы изучали на растровом электронном микроскопе JSM-6480LV фирмы JEOL с приставкой для энергодисперсионного анализа INCA ENERGY DryCool фирмы OXFORD INSTRUMENTS. Изучение сводилось к определению элементного состава в точках, расположенных на разном удалении от поверхности вдоль границы и по объему зерна. В результате были получены зависимости концентрации никеля от расстояния до нанесенного слоя диффузанта. Пример получаемых данных приведен на рис. 1.

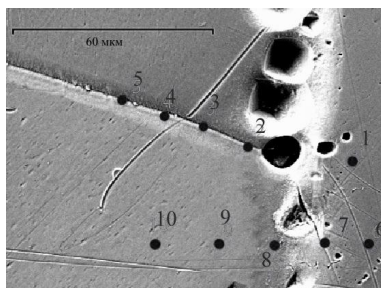


Рис. 1. Микрофотография поверхности протравленного шлифа (зелеными точками указаны места МРСА анализа)

Результаты и обсуждение

Для описания экспериментальных данных по ЗГД было использовано решение Фишера. В этой модели тройное произведение может быть вычислено по формуле [7]

$$s\delta D_{Gb} = 2 \left(\sqrt{\frac{D}{t}} \right) \left(-\frac{\partial \ln \bar{c}}{\partial z} \right)^{-2} \pi \frac{1}{2},$$

где $s\delta D_{Gb}$ – тройное произведение, $\text{м}^3/\text{с}$; D – объемная диффузия, $\text{м}^2/\text{с}$; t – время диффузионного отжига, ч; \bar{c} – усредненная концентрация диффузанта по большому количеству границ.

Полученные методом МРСА распределения никеля спрямлялись в логарифмических координатах $\text{Ln}[C(\text{Ni})]$ от расстояния до поверхности. Тангенс угла наклона прямой соответствует обратной фишеровской длине, которая связана с коэффициентами ЗГД и объемной диффузии следующим выражением:

$$L = \sqrt{\frac{s\delta D_{Gb} \sqrt{\pi t}}{2\sqrt{Dt}}}.$$

Результаты определения L для сплавов, содержащих различное содержание кобальта, приведены на рис. 2.

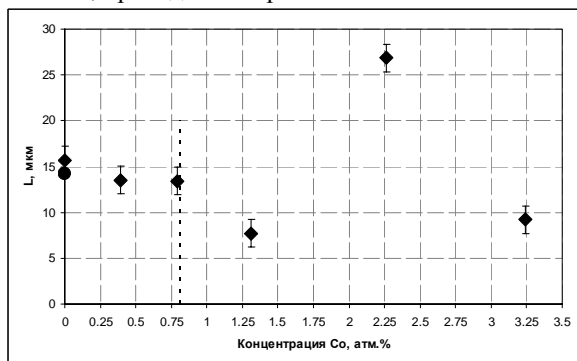


Рис. 2. Зависимость фишеровской длины (L) от концентрации кобальта в медном сплаве (● – по литературным данным [8]; ◆ – по данным, полученным в настоящей работе; пунктирной линией обозначена растворимость кобальта)

Сравнение литературных данных, полученных в работе [8], с результатами измерений глубины диффузионного проникновения никеля в чистой меди показывает корректность экспериментальной методики, используемой в нашей работе. Из концентрационной зависимости L видно, что в образцах с содержанием 0,39% Co, 0,79% Co глубина проникновения по ГЗ практически не отличается от глубины проникновения никеля по ГЗ чистой меди. В соответствии с работой [9] эти сплавы являются твердыми растворами. Предел растворимости при 650°C составляет 0,81% Co. Следовательно, сплавы 1,31% Co и 2,26% Co, 3,24% Co явля-

ются двухфазными и, по всей видимости, наблюдаемые значительные отклонения величины L связаны со структурными изменениями границ зерен (выделения второй фазы, искривление поверхности ГЗ) (рис. 3).

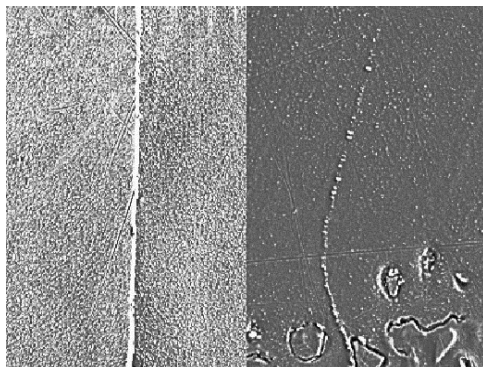


Рис. 3. Типичные микрофотографии шлифов с границей зерна (справа изображен образец с содержанием 2,26 атм % Со, слева – 0,39 атм % Со)

Таким образом, введение кобальта в медь в пределах твердого раствора не приводит к существенному изменению подвижности никеля по границам зерен, т.е. структура и диффузионные свойства ГЗ не меняются. Следовательно, anomalous 3D diffusion of cobalt in copper is conditioned, by all visibility, by a decrease in the average mobility of cobalt atoms in the grain boundary. The data on the mathematical modeling of cobalt on the surfaces of copper show a tendency of cobalt atoms to the formation of clusters, which have a significantly lower diffusion mobility [10]. Besides that, high-temperature studies of surface tension and creep in Cu-Co alloys indirectly show the formation of particles of the second phase on the surfaces of the interface (external and GB) within the solid solution [11, 12].

Список литературы

1. Mischin Y., Herzig Chr. *Materials Science and Engineering A* 260, 55 (1999).
2. Mischin Y., Herzig Chr., Bernardini J., Gust W. *Int.Mater. Rev.* 42, 155 (1997).
3. Mischin Y., Herzig Chr., Heitjans P., Karger J. Springer-Verlag, 2005, P.337.
4. Prokoshkina D.S, Esin V.A., Rodin A.O. *About Fe Diffusion in Cu // Defect and Diffusion Forum*, 2012. 323–325, pp.171–176.
5. Ицкович А.А., Хайруллин А.Х., Родин А.О. // *Научные ведомости БГУ им. Шухова*. 2012. №23(142). Вып. 29. С.134–138.
6. Thermodynamic re-assessment of the Cu-Ni system S.Mey, *CALPHAD*, 16 (1992), 255-260
7. Fischer, J.C.: *J. Appl. Phys.* 22 (1951) 634.

8. Yukawa and M.J. Sinnott , Trans. AIME 203 (1955) 996.
9. Tammann G., Oelsen W. Zeitschrift für anorganische und allgemeine ChemieP 257–288, 7 Februar 1930.
10. Zhang Jian-Hua, Zhang Yang, Wen Yu-Hua, Zhu Zi-Zhong // Computational Materials Science, Vol. 48, is 2, April 2010, pp. 250–257.
11. Zhevnenko S.N. Journal Metallurgical and Materials Transactions A 2013-02, pp. 1–6.
12. Zhevnenko S.N., Gershman E.I. // Journal of Alloys and Compounds, 25 September, 2012, pp. 554–558.

УДК 622.341

Т.Б. Понамарева, Е.И. Шабалин, Ю.В. Шабалина, Н.А. Шипилова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РЕСУРСОВ НА БАЗЕ ЭНЕРГОДИСПЕРСИОННОГО РЕНТГЕНОВСКОГО СПЕКТРОМЕТРА ARL QUANT'X

Рассмотрены возможности энергодисперсионного рентгеновского спектрометра ARL QUANT'X по определению химического состава природных и техногенных ресурсов.

В 2012 году на кафедру ХТиФХ МГТУ был приобретен энергодисперсионный рентгеновский спектрометр ARL QUANT'X. Данный прибор позволяет определить в исследуемых образцах элементы от Na до U с процентным содержанием от $10^{-4}\%$. При этом инструментальная погрешность спектрометра не превышает 5% (относительных). Измерения производятся неразрушающим методом. Время определения одного элемента – от 10 с.

Область применения спектрометра достаточно широка: сталь, чугун, цветные металлы, металлургические шлаки, шламы, руды, сырьевые материалы, масла, нефтепродукты и т.д. Образцы для исследования подчиняются ряду требований:

а) твердые образцы должны быть высотой не более 5 см, иметь плоскую поверхность средним диаметром не менее 2 см и шероховатостью не более 20 Rz;

б) крупность порошкообразных образцов не должна превышать 3 мм;

с) жидкости должны быть не агрессивными, иметь объём не менее 10 мл.

Программное обеспечение спектрометра позволяет проводить качественный, полуколичественный и количественный анализ. Результатом качественного анализа является график зависимости интенсивности вторичного излучения от энергии фотонов с поэлементной идентификацией пиков. На рис. 1 приведен пример такого исследования на легкие элемен-

ты, по результатам которого можно сделать вывод, что в образце присутствуют в определенных количествах магний, алюминий, кремний, фосфор и сера (наличие пика родия объясняется химическим составом антикатада рентгеновской трубки).

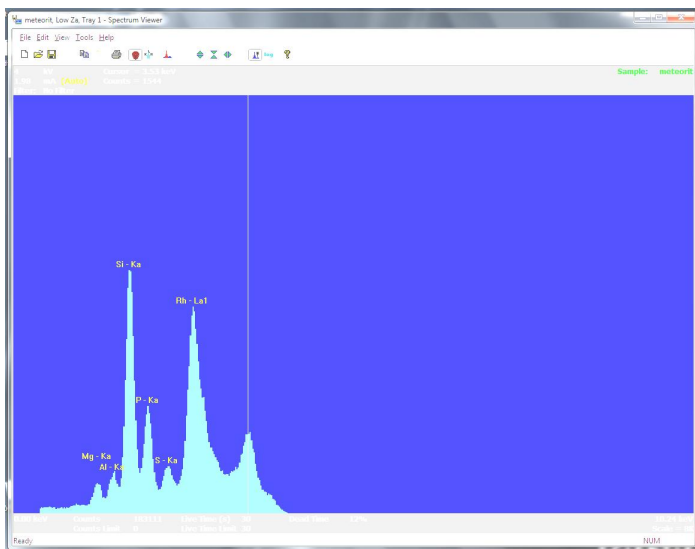


Рис. 1. Результат качественного анализа

The screenshot shows the UniQuant ED 6.12 software interface. A table displays the results of a quantitative analysis. The table has columns for Compound, m/m%, StdErr, ZL, m/m%, and StdErr. The data is as follows:

Compound	m/m%	StdErr	ZL	m/m%	StdErr
Fe2O3	75.75	0.44	Fe	52.98	0.30
MgO	12.78	0.20	Mg	7.71	0.12
SiO2	9.44	0.16	Si	4.41	0.07
CaO	2.42	0.08	Ca	1.73	0.06
MnO	2.41	0.08	Mn	1.87	0.06
SO3	0.640	0.064	Sx	0.256	0.026
K2O	0.416	0.021	K	0.345	0.017
TiO2	0.140	0.007	Ti	0.0839	0.0042
Cl	0.024	0.012	Cl	0.024	0.012
Ti2O3	0.0147	0.0013	Ti	0.0132	0.0012

Additional information at the bottom of the window includes: KnownConc= 0, REST= 0, D/S= 0, and Sum CONCs without normalisation to 100% : 104.1 %.

Рис. 2. Результат полуколичественного анализа

Бесстандартный полуколичественный анализ производится с помощью программы UniQuant. В этом случае время анализа возрастает до 2-х ч, так как образец исследуется на все элементы, а результатом анали-

за является процентное содержание элементов. Однако достоверность полученных результатов может колебаться в широких пределах и сильно зависит от дополнительных сведений об образце. В качестве примера на рисунке 2 приведен результат полуколичественного анализа одного из стандартных образцов предприятия (СОП) ОАО ММК, а в табл. 1 дано процентное содержание элементов и соединений в стандарте и полученное при анализе.

Таблица 1

Сравнение результата полуколичественного анализа с данными СОП

Компонент	СОП, %	Полуколичественный анализ, %
SiO ₂	5.82	9.44
CaO	2.25	2.42
Fe	48.4	52.98
MgO	11.9	12.78
MnO	2.07	2.41

По данным таблицы можно сделать вывод, что полученные при полуколичественном анализе значения отличаются от стандартных в пределах относительной погрешности от 7–10% для MgO, MnO и Fe до 60% для SiO₂, – это для данного способа является вполне приемлемым.

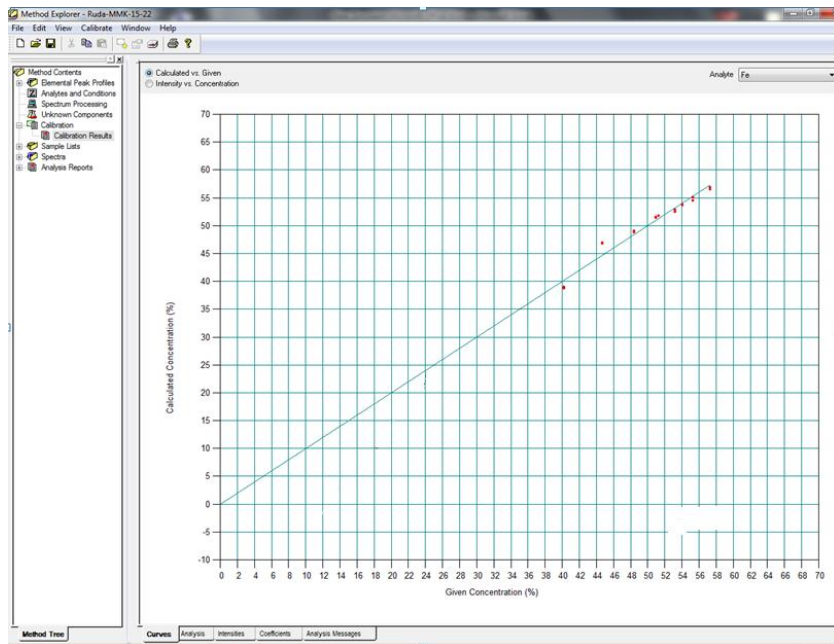


Рис. 3. Градуировочная кривая для железа

При наличии нескольких (от 5) стандартных образцов возможно проведение количественного анализа. Этот способ требует предварительной подготовки в виде получения градуировочных кривых, что порой занимает достаточно большое время (до месяца). Однако затем на достаточно точный анализ одного элемента уходит несколько секунд. На рис. 3 приведена одна из таких градуировочных кривых для Fe, построенная по 12-ти стандартным образцам, а в табл. 2 – процентное содержание элементов и соединений в том же самом СОП ОАО ММК, полученное при количественном анализе.

Таблица 2

Сравнение результата количественного анализа с данными СОП

Компонент	СОП, %	Количественный анализ, %
SiO ₂	5.82	5.92
CaO	2.25	2.24
Fe	48.4	48.9
MgO	11.9	11.98
MnO	2.07	2.01

Как видно из сравнения, расхождение результатов анализа со стандартными значениями не превышает 3% (относительных), что вполне укладывается в заявленную точность прибора.

Таким образом, широкие возможности энергодисперсионного рентгеновского спектрометра ARL QUANT'X и в области применения, и в количестве способов исследования, вкпе с высокой точностью анализа, позволяют использовать прибор как в научно-исследовательских, так и в коммерческих целях.

УДК 669. 292.3 : 669. 054. 82

Е.С. Махоткина, М.В. Шубина

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ВАНАДИЯ ИЗ ШЛАКА ПРОЦЕССА ITmk3

Рассмотрена возможность извлечения ванадия из шлака процесса ITmk3 методами кислотного выщелачивания из необоженного шлака и сплавления шлака с щелочными добавками с дальнейшей обработкой плава водой. Изучена зависимость степени извлечения ванадия от температуры обжига.

В ОАО «ММК» изучалась возможность прямого получения металла из титаномагнетитового сырья по технологии ITmk3, т.е. минуя аглодомный передел, и получена опытная партия металла. Для исследования в МГТУ были представлены шлаки полупромышленной переработки ти-

таномagnetитов Южного Урала (титанома-гнетиты месторождений Малый Куйбас).

Цель исследования: извлечение ванадия из шлака технологии ITmk3.

Задачами исследования являлись:

- 1) выбор способа перевода соединений ванадия в раствор;
- 2) установление принципиальной возможности извлечения ванадия из шлаков переработки титаномагнетитов по технологии ITmk3;
- 3) установление режима обжига смеси для последующего гидрометал-лургического извлечения соединений ванадия.

На практике основными промышленными концентратами ванадия являются шлаки металлургического производства, полученные при выплавке стали и чугуна, а также отходы титанового и алюминиевого производства [1]. Чаще используют конвертерные шлаки, содержащие 12–14% ванадия (который входит в состав шпинелида – твердого раствора оксидов двух- и трехвалентных металлов) [2,3].

Особенностью представленных для исследования шлаков является низкое содержание в них ванадия (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав шлака

Массовая доля, %							
Fe	V ₂ O ₅	TiO ₂	CaO	SiO ₂	S	Al ₂ O ₃	MgO
22,6-24,8	1,02-1,2	17,1-21,0	7,55-10,2	22,5-26,3	0,164-0,214	12,1-16,2	3,4-5,93

Для решения поставленных задач проведен литературный обзор и патентный поиск способов извлечения ванадия из шлаков и ванадийсодержащего сырья [2,6-9].

При всем разнообразии предложенных технологий сущность процесса заключается в обжиге материалов с целью перевода трехвалентного ванадия в пятивалентный с последующим образованием растворимых соединений ванадия V₂O₅ с щелочными металлами. При этом вследствие сложного и постоянно меняющегося состава шлаков возникают трудности при исследовании превращений при окислении шлаков, что вынуждает исследователей подходить с разных позиций к этому вопросу. Так, приводятся способы щелочного и кислотного выщелачивания V₂O₅ из необожженных ванадиевых шлаков (6 и 12 мас.% соответственно) [2].

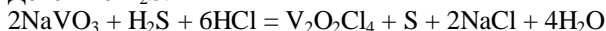
В исследуемых нами шлаках ванадий представлен в виде V₂O₅, однако, по литературным источникам, часть ванадия в шлаке может находиться в более низких степенях окисления. Состав и физико-химические свойства ванадиевых шлаков оказывают существенное влияние на вскрываемость и извлечение ванадия. Некоторые авторы считают, что в процессе обжига (при температурах выше 750°C) начинается реакция между силикатом и ванадием, в результате чего последний переходит в нерастворимую форму. Валентность ванадия в силикате не установлена,

но предполагается, что это V^{IV} и ниже. Степень извлечения ванадия в раствор в значительной мере зависит и от атомного отношения $V : Si$ [2].

На основании изложенного для исследования шлаков применили метод кислотного выщелачивания необоженного шлака и метод сплавления шлака с карбонатом натрия с дальнейшей обработкой плава водой. Данный метод разделения (т.н. «сухой способ») отделяет даже следы ванадия от малорастворимых оксидов [4].

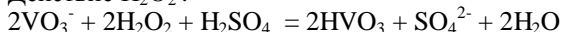
Перед количественным определением содержания ванадия провели ряд качественных реакций с полученными растворами. Наиболее чувствительными в наших условиях оказались реакции с сероводородом (или Na_2S) в кислой среде (синий цвет раствора) и с H_2O_2 в кислой среде (красно-розовая окраска) [5].

Действие H_2S :



H_2S в кислой среде не осаждает ион VO_3^- , а лишь восстанавливает его в катион $V_2O_2^{4+}$, окрашенный в синий цвет.

Действие H_2O_2 :



В присутствии VO_3^- , вследствие образования надванадиевой кислоты, появля-ется красно-розовая окраска.

Выбранные качественные реакции использовались в дальнейшей работе с растворами, полученными после выщелачивания шлаков.

При кислотном выщелачивании навеску необоженного шлака растворяли в смеси кислот (H_2SO_4 и H_3PO_4 , 1:1) при кипячении. После остывания раствор над осадком профильтровали (двойной фильтр) и провели количественное определение содержания ванадия титриметрическим методом, основанным на титровании ионов V^V в кислой среде стандартным раствором соли Мора с внутренним индикатором – фенилантраниловой кислотой. Степень извлечения ванадия в данном случае составила всего 0,5–1,0%.

Поэтому в дальнейших исследованиях применялся высокотемпературный обжиг шлака с щелочными добавками с последующим водным выщелачиванием. Роль щелочных добавок сводится к получению водорастворимых соединений ванадия, что значительно удешевляет и упрощает технологию, исключает загрязнение окружающей среды. В качестве щелочной добавки использовали Na_2CO_3 (можно CaO , $NaCl$, Na_2SiO_3). Температура обжига составляла 700–950°C. Причем, при термообработке 700°C степень извлечения ванадия значительно ниже. После обжига плавы оставляли в печи до полного остывания. Затем применяли водное выщелачивание. Раствор отфильтровывали и проводили титриметрическое определение ванадия с помощью соли Мора. (Конечная т.т. устанавливается внутренним индикатором – фенилантраниловой кислотой. Титруют до перехода вишнево-красной окраски в бледно-зеленую [3,4].)

Одновременно проводился анализ образцов способом рентгенофлуоресцентной спектроскопии на энергодисперсионном спектрометре «ARL

QUANT 'X». Результаты анализов приведены в табл. 2 (рассчитывались по специальной методике).

Таблица 2

Образец		Режим обжига	Степень извлечения ванадия, %	
Номер	Состав		РФС	титр. метод
1	5 г шл. + 5 г щ.д.*	700°C, 40 мин	-	15,0
2	5 г шл. + 5 г щ.д.	930°C, 1ч 30 мин	31,2	29,6
3	5 г шл. + 5 г щ.д.	950°C, 1 ч 50 мин	30,1	21,7
4	5 г шл.+2,5 г щд	950°C, 1 ч 50 мин	26,5	29,8

* щ.д.- щелочная добавка, в данном случае – Na_2CO_3 .

Таким образом, на данном этапе исследований была установлена принципиальная возможность извлечения ванадия из шлаков переработки сырья по ITmk3 технологии, при этом:

- 1) наилучшие результаты достигнуты при проведении водного выщелачивания шлака;
- 2) обжиг шлака со щелочными добавками при 930–950°C в течение 1 ч 30–50 мин обеспечивает степень извлечения ванадия около 30%;
- 3) процесс извлечения не требует применения дорогостоящих реагентов и является экологически чистым.

Список литературы

1. Перспективы вовлечения в переработку новых видов железосодержащего сырья / Б.А. Никифоров, Р.С. Тахаудинов, В.А. Бигеев, А.М. Бигеев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2004. №1. С.9–11.
2. Окисление ванадиевых шлаков / Ватолин Н.А., Молева Н.Г., Волкова П.И., Сапожникова Т.В. М.: Наука, 1978. 153 с.
3. Теплоухов В.И. Анализ мартеновских и электропечных шлаков. Свердловск, 1962. 78 с.
4. Шарло Г. Методы аналитической химии. Количественный анализ неорганических соединений. М.: Химия, 1965. 1976 с.
5. Алексеев В.И. Курс качественного химического полумикроанализа. М.: Госхимиздат, 1958. 273 с.
6. Пат. 2148669 РФ, МПК С 22 В 34/22. Способ переработки ванадийсодержащего сырья.
7. Пат. 2082795 РФ, МПК С 22 В 34/22. Способ извлечения ванадия.
8. Пат. 2153018 РФ. Способ извлечения ванадия из конвертерных ванадиевых шлаков.
9. Пат. 2025524 РФ, МПК С 22В 34/22. Способ переработки титаномагнетитовых концентратов, содержащих ванадий.

В.Н. Петухов, В.В. Субботин, М.А. Ильина

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ РЕАГЕНТОВ-СОБИРАТЕЛЕЙ ПРИ ФЛОТАЦИИ СФЛОКУЛИРОВАННОЙ УГОЛЬНОЙ МЕЛОЧИ

Представлены экспериментальные данные исследования процесса флотации угольного шлама с использованием различных реагентов-собирателей после предварительной флокуляции. Разработан новый эффективный реагентный режим.

На коксование поступают угли после предварительного их обогащения до содержания минеральных веществ в пределах 7–9%. Для обогащения тонких классов углей наиболее эффективным методом обогащения является флотация.

Для повышения эффективности флотации углей в направлении повышения извлечения горючей массы в концентрат при одновременном снижении расхода реагентов-собирателей ищутся новые реагенты на основе исследования механизма их действия [1].

Нами были проведены исследования по разработке новых эффективных реагентных режимов флотации углей, до и после флокуляции, на основе исследования влияния химического состава реагентов.

В качестве исходного продукта на флотацию исследовались угли марки «ОС» «Березовский» с зольностью 18,0%, уголь марки «Ж» ЦОФ Беловская с зольностью 17,3% и уголь «Аллардинский» с зольностью 14,3%.

В качестве реагентов-собирателей были исследованы технические продукты нефтепереработки:

- мотоалкилат;
- термогазойль – реагент-собиратель, используемый на УОФ РФ;
- тяжелый полимер дистиллата (ТПД) [2].

В качестве флокулянтов использовались анионные и катионные сополимеры полиакриламида различной молекулярной массы.

При проведении исследований флотоактивности реагентов на угле марки «ОС» «Березовский» с зольностью 18,0%, было подтверждено, что флотируемость углей определяется химическим составом реагентов-собирателей [3]. Лучшие показатели флотации угля получены при использовании в качестве реагента-собирателя ТПД (рис. 1).

Установлено, что при снижении расхода собирателя ТПД суммарный выход концентрата на 2–6% больше, по сравнению с использованием мотоалкилата и термогазойля. При этом расход реагента собирателя термогазойля в 4 раза выше ТПД (см. рис. 1). Это обусловлено групповым химическим составом ТПД. В групповом химическом составе ТПД преобладают непредельные углеводороды. Ранее рядом исследователей было установлено, что непредельные углеводороды имеют повышенную адсорбцию на угольной поверхности [4].

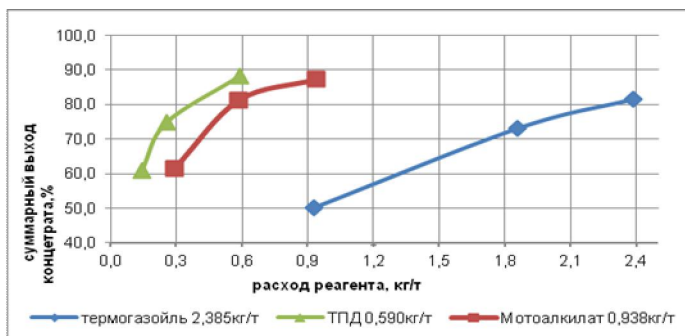


Рис. 1. Зависимость суммарного выхода концентрата от расхода реагента при флотации угля (без флокулянта)

В случае флотации угольного шлама после флокуляции эффективность флотации ухудшается из-за повышения гидрофильности частиц.

Подобные закономерности по флотирруемости углей установлены при флотации угля марки «Ж» ЦОФ Беловская с зольностью 17,3%.

Однако установлено, что после предварительной флокуляции угольной пульпы лучшие результаты по эффективности и селективности процесса флотации достигаются в случае применения в качестве собирателя ТПД. При расходе 0,325 кг/т ТПД выход концентрата составит 86,5% с зольностью 11,3%. Применение мотоалкилата приводит к снижению выхода флотоконцентрата до 83,9% при одновременном повышении его зольности до 13,1% с увеличением расхода реагента в два раза. Использование в качестве реагента-собирателя термогазойля еще более значительно ухудшает показатели флотации угля. Выход флотоконцентрата снижается на 5% при незначительном уменьшении его зольности (рис.2).

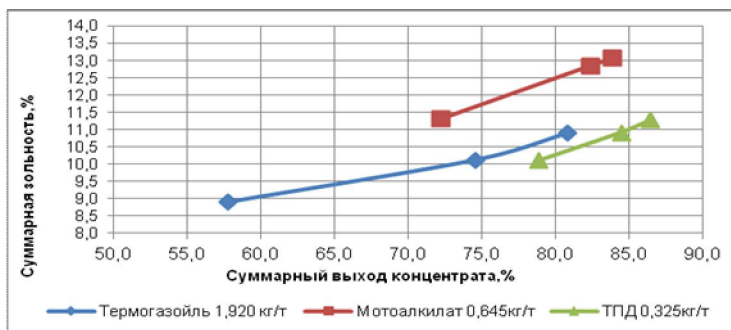


Рис. 2. Зависимость суммарной зольности от выхода концентрата при флотации угля (флокулянт Magnafloc M-10)

В случае флотации угля «Аллардинский» с зольностью 14,3% также установлено, что использование реагента-собирателя ТПД позволяет улучшить показатели флотируемости углей по сравнению с использованием термогазойля.

При использовании ТПД выход флоконцентрата повышается на 3,9% в случае флотации угольного шлама без предварительной флокуляции и на 12,7% после предварительной обработки угольной пульпы флокулянтom Magnofloc M-10 в количестве 0,01 кг/т (см. таблицу).

Результаты флотации углей с использованием различных реагентов-собирателей

Флокулянт	Реагент-собиратель	∑ выход, %
Без флокулянта	Тяжелый полимер дистиллата	93,2
Magnofloc M-10 0,01 кг/т	Тяжелый полимер дистиллата	90,3
Без флокулянта	Термогазойль	89,3
Magnofloc M-10 0,01 кг/т	Термогазойль	77,6

Исследованием установлено, что для снижения потерь органической массы углей с отходами флотации целесообразно использовать в качестве реагента-собирателя ТПД. Применение реагента-собирателя ТПД в случае использования флокулянта Magnafloc M-10 для сгущения угольной пульпы перед флотацией позволяет снизить потери органической массы угля с отходами флотации на 3,8–8,8%, по сравнению с применением широко используемого реагента-собирателя термогазойля. При этом расход ТПД снижается в 4–5,9 раза по сравнению с использованием термогазойля.

Список литературы

1. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. Т. 2. М.: МГГУ, 2004.
2. Пат. 2306982 РФ, МПК В 03 D 1/02. Способ флотации угля / Петухов В.Н., Захаров И.П., Свечникова Н.Ю. (Осина Н.Ю.) и др.. № 2006105534/03; заявл. 22.02.06, опубл. 27.09.07. Бюл. № 27. 4 с.
3. Шевченко Т.В. Прикладная коллоидная химия. Флокулянты и флокуляция. Кемерово: КемТипп, 2004.
4. Петухов В.Н., Свечникова Н.Ю. Повышение эффективности процесса флотации угля с использованием нового реагента-собирателя // Материалы 64-й научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 2004-2005 гг.: сб. докл. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГГУ», 2006. Т.1. 289 с.

И.А. Афонин

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТКАНЕВЫХ ФИЛЬТРОВ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА

Рассмотрены способы снижения влагосодержания газов перед подачей их в тканевые фильтры. Приведена сравнительная оценка данных способов, условия их применения, а также приблизительная экономическая оценка применения каждого способа на примере системы газоочистки участка по переработке металлургических шлаков ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Тканевые фильтры являются высокоэффективными аппаратами для очистки промышленных газов от пыли при сравнительно умеренных капитальных и эксплуатационных затратах.

Вместе с тем, эффективность работы тканевых фильтров в холодный период года (при снижении температуры газового потока ниже точки росы) может существенно снижаться за счёт конденсации водяных паров на ткани, что приводит к образованию неудаляемых наростов или практически полной потере газопроницаемости ткани, а также к усилению коррозии металлических деталей фильтра [1].

Подогрев газов – позволяет поддерживать температуру газов выше точки росы, тем самым не допуская зашламования фильтровальной ткани. Как правило, подогрев осуществляется пропуском газового потока через специальные устройства – калориферы. Источником тепловой энергии может быть теплоноситель (горячая вода, перегретый пар, дымовые газы), горячий воздух, открытое пламя, электрический ток. Дополнительно к подогреву газов должна быть организована теплоизоляция металлических газопроводов, чтобы не допустить потерь тепла через стенки. Теплоизоляция газопроводов выполняется либо на тех участках, где магистраль проходит снаружи зданий, либо на всей протяжённости газопровода от места аспирации пыли до тканевого фильтра. В качестве материалов для теплоизоляции используют неорганические материалы (минеральную вату) либо вспененные органические полимеры (пенополиуретан, пеноизол и т.п.).

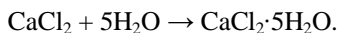
Конденсация – процесс тепломассообмена на границе твёрдого тела и жидкости. Сопровождается выделением энергии, т.е. повышением температуры газов. Конденсация позволяет извлечь водяной пар из аэродисперсной системы и перевести его в жидкую фазу до контакта с фильтровальной тканью. Процесс может осуществляться как в отдельных конденсаторах-холодильниках, так и с помощью простейших устройств, смонтированных непосредственно внутри газопроводов (ячеистые, трубчатые или жалюзийные металлические решётки и др.).

Адсорбция – поглощение водяного пара пористыми телами. Для повышения эффективности адсорбции материал-адсорбент должен вводиться в газовый поток в диспергированном виде. В качестве адсорбен-

тов рекомендуются к использованию активный уголь, силикагели и цеолиты. Сравнительная эффективность адсорбентов приведена в таблице.

Химическая адсорбция (хемосорбция) – химическое связывание молекул воды адсорбентом с образованием кристаллогидратов.

В качестве хемосорбента рекомендуется безводный хлорид кальция CaCl_2 . Реакция поглощения воды имеет вид [3]:



Активность адсорбентов по парам воды при $+10^\circ\text{C}$
(масс. % к сухому сорбенту) [2]

Активный уголь	32.4
Силикагель	39.5
Цеолит Ц-202-48 типа NaA	28.65

Сравнивая вышеизложенные методы снижения влагосодержания газов, можно сделать вывод, что наиболее радикальным и эффективным является подогрев газов и теплоизоляция газоходов. Однако данный метод в ряде случаев невозможно или экономически невыгодно реализовать.

Например, система газоочистки участка по переработке металлургических шлаков ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» включает в себя: аспирационные системы, забирающие запылённый воздух от мест дробления, сортировки и перегрузки холодного шлака; стальные воздухопроводы; рукавный фильтр и вентилятор. В холодный период года на рукавах фильтра откладывается слой влагонасыщенной крупнодисперсной пыли, что приводит к потере воздухопроницаемости ткани и повышению гидравлического сопротивления фильтра. Применяемый способ регенерации не позволяет удалить с рукавов слипшиеся слои пыли, повышается механическая нагрузка на ткань, что приводит к её разрыву и необходимости частой замены рукавов.

Ввиду того, что участок располагается вдали от основной промплощадки комбината, транспортировка теплоносителей (пар, дымовые газы) и энергоносителей (горючих газов для сжигания) сопряжена с неоправданно большими капитальными затратами. Организация электрического подогрева газов также не может быть реализована из-за очень больших затрат электроэнергии. Поэтому в таких условиях для снижения влагосодержания очищаемых газов целесообразно организовать одновременно устройства для конденсации пара внутри воздухопроводов и применять кондиционирование газов адсорбентами.

Анализируя данные таблицы, а также учитывая доступность, стоимость и возможность регенерации адсорбентов, можно рекомендовать для кондиционирования газов пыль сухого тушения и сортировки кокса, взятую из бункеров батарейных циклонов УСТК и коксортировки коксовой батареи № 9-бис коксового цеха ОАО «ММК». Данная пыль явля-

ется крупнодисперсной ($d_m = 56$ мкм, $\sigma = 3,9$), частицы обладают очень развитой пористой поверхностью, размеры пор варьируются от крупных до микроскопических.

Регенерация угольного адсорбента (коксовой пыли) из смеси с уловленной пылью металлургических шлаков представляется затруднительной, т.к. наиболее эффективным является процесс разделения частиц по плотности (седиментация), осуществляемый в жидкой среде. В результате образуются шламы, которые необходимо высушивать, а только после этого прокаливать. Данный процесс является весьма затратным и занимает большое время. Поэтому альтернативный вариант – не проводить регенерацию на месте, а уловленную пыль направлять в агломерационное производство с целью добавления в шихту для спекания. Химический состав уловленной пыли примерно соответствует составу и содержанию компонентов агломерационной шихты – оксиды железа, кокс, известняк и другие шлакообразующие материалы.

Список литературы

1. Алиев Г. М.-А. Устройство и обслуживание газоочистных и пылеулавливающих установок: учебник для СПТУ. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1980.
2. Серпионова Е.Н. Промышленная адсорбция газов и паров. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1969.
3. Глинка Н.М. Общая химия: учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1984.

УДК 66. 074. 6

Е.А. Афонина

УЛУЧШЕНИЕ УСЛОВИЙ ТРУДА ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ АСПИРАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Рассмотрена возможность уменьшения объема работ по ручной очистке лопастей вентилятора тракта подачи рециркулята в топочные камеры периферийных горелок шахтных печей за счет разрушения дисперсной структуры слоя частиц в акустическом поле.

Одной из проблем, возникающих при эксплуатации шахтных печей, является образование плотных пылевых отложений на лопатках рабочих колес вентиляторов, обеспечивающих подачу рециркулята в топочные камеры периферийных горелок (рис.1), что приводит к дисбалансу осей рабочих колес и, как следствие, появлению вибраций.

Это вызывает необходимость периодической остановки вентиляторов для ручной очистки лопаток рабочих колес от слоя пыли, сформиро-

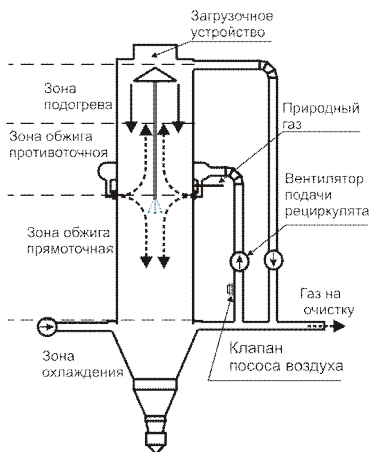


Рис. 1. Схема подачи рециркулята в топочные камеры периферийных горелок

- закрытие специально устроенного люка на корпусе вентилятора;
- включение вентилятора.

Работа непосредственно по очистке лопастей вентилятора проводится в условиях повышенной запыленности и загазованности, поскольку даже при отключенном вентиляторе осуществляется движение газа за счет теплового напора и применение средств индивидуальной защиты органов дыхания обязательно.

В связи с этим возникает задача по устранению ручной очистки лопаток вентилятора или уменьшения числа остановок для ее выполнения. Одним из путей решения этой проблемы является применение акустических систем, способных создавать звуковые колебания среды с мощностью, достаточной для разрушения пылевых отложений, сформировавшихся на поверхности лопаток рабочих колес вентиляторов [1–5]. В качестве генераторов колебаний воздушных потоков в таких системах могут использоваться электродинамические сирены или газоструйные свистки.

Промышленные испытания системы акустической очистки проводились с аксиально-радиальной сиреной (СНАР) и стержневым газоструйным излучателем. Акустический поток от сирены подавался как через входной патрубок (рис. 2), так и через люк в улитке вентилятора (рис.3). Акустический поток от стержневого газоструйного излучателя подавался через люк в улитке вентилятора (см. рис.3).

Результаты промышленных испытаний акустических систем очистки лопаток вентиляторов ВГДН-15 и ВГДН-17 шахтных печей ИОФ-2 ИДП ОАО «ММК» приведены в таблице.

Проведенные испытания показали, что наибольший эффект достигается при озвучивании через люки в улитке вентилятора. Однако полной

вавшегося на их поверхности. Ручная очистка – работа, связанная с повышенной опасностью и выполняемая в условия дефицита времени, поскольку отключение вентилятора при работающей печи приводит к нарушению нормального хода технологического процесса и выделению части газов из нее в рабочую зону отделения разгрузки. Процесс очистки выполняется в несколько этапов:

- выключение вентилятора и его торможение с помощью ручного тормозного механизма;
- вскрытие специально устроенного люка на корпусе вентилятора;
- очистка лопастей вентилятора металлическим скребком;

очистки «до металла» получить не удалось. Это объясняется высокой слипаемостью свежеобожженной извести. Тем не менее, полученные результаты позволяют сократить число остановок на ручную очистку в 2–4 раза.

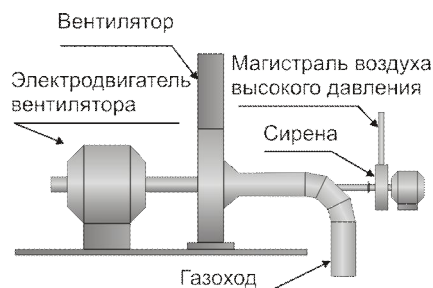


Рис. 2. Схема подачи акустического потока через входной патрубок вентилятора

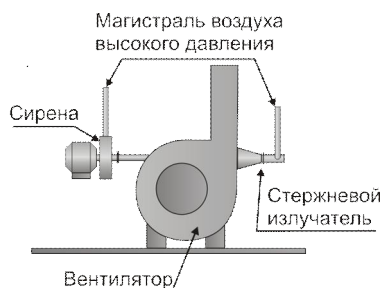


Рис. 3. Схема подачи акустического потока через люк в улитке вентилятора

Результаты промышленных испытаний акустических систем очистки лопаток вентиляторов ВГДН-15 и ВГДН-17 шахтных печей ИОФ-2 ИДП ОАО «ММК»

Объект	Акустический генератор	Место ввода акустического потока	Толщина пылевого слоя, мм		Доля удаленной пыли, %
			до озвучивания	после озвучивания	
ВГДН-15, ШГП №1Бис	СНАР	Входной патрубок	15	6	40
ВГДН-15, ШГП №1Бис	СНАР	Входной патрубок	21	7	60
ВГДН-17, ШГП №2Бис	СНАР	Улитка вентилятора	25	2	92
ВГДН-15, ШГП №1Бис	Газоструйный	Улитка вентилятора	17	3	82

Список литературы

1. Возможности дистанционной очистки запыленных поверхностей акустическими потоками в металлургии / Афонина Е.А., Гусев А.М., Черчинцев В.Д., Дробный О.Ф. // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. Вып. 5. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2005. С. 248–251.
2. Гусев А.М., Афонина Е.А. Разработка конструкции акустических генераторов систем регенерации рабочих поверхностей пылеулавливающих аппаратов и установок // Проблемы повышения экологической и промышленной безопасности производственно-технических комплексов промышленных регионов: сб. науч. тр. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И.Носова, 2004. С. 123–126.
3. Применение акустической регенерации запыленных поверхностей при решении экологических проблем / Афонина Е.А., Гусев А.М., Черчинцев В.Д.,

- Дробный О.Ф. //Экологическая реабилитация промышленных производств и территорий: сб. статей. Пермь: ОАО «ИПК»Звезда», 2005. С.250–255.
4. Разработка системы регенерации элементов газовых трактов в акустическом пограничном слое / Афонина Е.А., Гусев А.М., Черчинцев В.Д., Дробный О.Ф. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2004. №1. С. 52–54.
 5. Афонина Е.А., Гусев А.М. Совершенствование систем регенерации пылеулавливающих элементов газоочистных аппаратов для повышения эффективности их работы // Проблемы повышения экологической и промышленной безопасности производственно-технических комплексов промышленных регионов: сб. науч. тр. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И.Носова, 2004. С. 112–114.

УДК 622.002.8:622.831.3

Т.В. Свиридова

К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ УСТОЙЧИВО БЕЗОПАСНЫХ ПАРАМЕТРОВ БОРТОВ КАРЬЕРОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Рассмотрены вопросы устойчивости откосов бортов при размещении промышленных отходов в выработанном карьерном пространстве. Проанализированы традиционные и современные геосинтетические противофильтрационные экраны, используемые при размещении промышленных отходов в выработанном карьерном пространстве.

В настоящее время получила широкое распространение рекультивация выработанного карьерного пространства с размещением промышленных отходов. Такой подход позволяет решать сразу две проблемы: с одной стороны, размещения промышленных отходов и с другой – рекультивации отработанных карьеров.

Однако существующий опыт показывает, что зачастую использование промышленных отходов для рекультивации карьерного пространства ведется на опыте, без необходимого и достаточного научного обоснования. Такой подход к решению проблемы размещения отходов не обеспечивает соблюдения экологических требований.

Техническая рекультивация техногенных пустот должна обеспечивать гидроизоляцию выработанного пространства от природного массива; отсутствие или минимизацию влияния размещаемых отходов на окружающую среду; недопустимость риска возникновения опасности для здоровья людей.

Карьерные выемки могут быть использованы для размещения отходов горно-обогатительного, металлургического переделов, промышленных и бытовых отходов с последующей биологической рекультивацией. Отработанное карьерное пространство целесообразно использовать для

размещения отвалов вскрышных пород рядом расположенного действующего карьера.

Формированию технологии проведения технической рекультивации карьерных выемок должна предшествовать эколого-экономическая оценка по выбору приоритетного направления её проведения.

Главной задачей при размещении промышленных отходов в отработанном карьерном пространстве является обеспечение экологической безопасности окружающей природной среды и населения. Основным критерием для определения условий размещения промышленных отходов являются гидрогеологические и условия месторождения и физико-механические свойства пород, слагающие массив.

При размещении отходов высокого класса опасности необходимо создавать изоляционные экраны, предотвращающие проникновение загрязняющих веществ в окружающую среду.

Наиболее распространенным материалом для их сооружения являются глина и суглинки, которые, как правило, присутствуют в достаточном количестве при разработке месторождений полезных ископаемых.

Главными составными элементами современных геосинтетических экранов являются полимерные мембраны, бентонитовые глиноматы, природные минеральные материалы.

Изоляция дна и откосов емкостей для размещения отходов должна отвечать следующим требованиям: иметь определенный коэффициент фильтрации на протяжении всего периода эксплуатации, обладать термической и химической инертностью, механической прочностью и структурной однородностью.

Главными недостатками традиционных противofильтрационных экранов являются: отсутствие инструментальных методов контроля герметичности экрана, высокий риск растрескивания экрана, ослабление изоляционных свойств, трудоемкая технология устройства, негативное влияние на природу.

Современные геомембранные материалы обеспечивают водонепроницаемость, высокую устойчивость к большинству химических соединений, устойчивость к ультрафиолетовому излучению, трещинообразованию, к действию микроорганизмов и прорастанию корней растений, обладают высокой механической прочностью и пластичностью (см. рисунок и таблицу) [1].

В выработанных карьерных пустотах контролировать целостность изоляционного материала практически невозможно. Противofильтрационные экраны способны эффективно предотвращать проникновение загрязняющих веществ только в устойчивой надежной конструкции. Таким образом, на стадии проектирования необходимо рассмотреть возможности и технологические решения, позволяющие избежать повреждения экрана.

Неучтенный рост развития деформационных процессов в недрах при разработке месторождений приводит к катастрофическим последствиям.

Основным условием сохранения целостности экранов является обеспечение устойчивого объемно-напряженного состояния откосов уступов и бортов карьеров.



Мировой опыт использования геосинтетических противofiltrационных экранов

Сравнение технико-экономических характеристик экранов

Показатель	Глиняный экран	Геосинтетический экран
Коэффициент фильтрации $K_{\text{ф}}$, м/с	10^{-9}	10^{-11}
Коэффициент уплотнения, %	95-100	-
Плотность, г/см ³	1,45-1,55	0,95-0,96
Толщина слоя	1-5 м	2-5 мм
Термическая и химическая устойчивость	Средняя, возможно возникновение коррозионных трещин	Высокая
Себестоимость, руб./м ²	500-1800	200-700

Для инженерных расчетов объемного коэффициента запаса устойчивости откоса, не подработанного и подработанного подземными выработками, может быть использовано суммирование удерживающих и сдвигающих сил с учетом изменчивости их направлений по изогнутой поверхности скольжения и с учетом изменения физико-механических свойств массива пород [2].

Суммирование удерживающих и сдвигающих сил с учетом изменчивости их направлений по изогнутой поверхности скольжения предложено в работе [3].

Результаты расчетов показали, что коэффициент запаса устойчивости, рассчитанный по методике с учетом объемных сил, выше, чем рассчитанный по методике ВНИМИ на 19–26% (в среднем на 23%). Это позволяет принять угол откоса более крутым, тем самым уменьшить экономические затраты и более точно обосновывать углы откосов бортов карьеров с целью их дальнейшего использования для размещения отходов [4].

Для достижения требуемого коэффициента запаса устойчивости откосов бортов карьеров, пригодных для размещения промышленных от-

ходов, необходимо использовать мероприятия технического и технологического характера [5].

На верхних горизонтах карьера, сложенных мягкими породами, могут возникнуть оползни. С целью предотвращения необходимо укреплять скальную вскрышей верхние горизонты карьера.

К техническим мероприятиям относятся механическое укрепление и упрочнение пород. Механическое укрепление осуществляется использованием контрфорса, железобетонных свай и подпорных стенок. Упрочнение пород достигается применением цементации, нагнетания укрепляющих растворов из полимерных материалов. Данные мероприятия необходимо применять при сложении массива борта карьера сильнотрещиноватыми, трещиноватыми скальными, а также рыхлыми увлажненными породами. В качестве технологического мероприятия можно использовать обеспечение минимального коэффициента запаса устойчивости. Это возможно при ускоренной выемке горной массы и размещением отходов в карьере.

Вопросы обеспечения устойчивости бортов карьеров, используемых для размещения промышленных отходов, являются актуальными и требующими проведения исследований объемно-напряженного состояния массива горных пород. Именно обеспечение устойчивого состояния откосов бортов позволит избежать роста развития деформаций, которые могут привести к возникновению чрезвычайных ситуаций при размещении промышленных отходов в карьерах.

Список литературы

1. ЕВРОИЗОЛ Geosynthetics: [Электронный ресурс]. Киев, 2009-2013. URL: <http://www.geosvit.com.ua> (дата обращения: 10.04.2013).
2. Кузнецова Т.С., Некерова Т.В. Предельная высота подработанного откоса подземными выработкам при действии объемных сил // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. № 3. С. 5–8.
3. Черчинцева Т.С., Кузнецова Т.С. Геомеханические основы прогноза объемных деформаций и устойчивости откосов горных пород: монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007.
4. Гавришев С.Е., Кузнецова Т.С., Некерова Т.В. Методика обоснования параметров бортов карьеров при выемке прибортовых запасов подземным способом // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. № 1. С. 14–17.
5. Некерова Т.В. Использование отработанных карьеров для размещения промышленных отходов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й межрегион. науч.-техн. конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. Т.1. С. 156–159.

Ю.Е. Савина

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СУУ-4 НА СТЕПЕНЬ УЛАВЛИВАНИЯ ДИОКСИДА СЕРЫ И РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ СУЛЬФОСОДЕРЖАЩИХ ОТЛОЖЕНИЙ В СКРУББЕРЕ

Рассмотрена проблема образования сульфосодержащих отложений в скруббере, образующихся при очистке аглогазов от диоксида серы. Исследовано влияние pH рабочего раствора и температуры газов на степень очистки и образование отложений. Рассмотрена возможность реагентной обработки рабочего раствора для подавления кристаллизации солей из растворов.

Для очистки газов агломерационного производства от диоксида серы в ОАО «ММК» применяют известковый способ, основанный на промывке газов известковым молочком в противоточном режиме, когда очищаемый газ подается снизу, а сверху – диспергированный известковый раствор. Аппарат для очистки газов от диоксида серы, орошаемый известковым раствором, является перспективным, однако при существующей схеме очистки возникают отложения продуктов реакции на рабочих поверхностях скруббера.

При орошении горячих аглогазов холодной водой в скруббере протекают процессы тепло- и массообмена. Вследствие испарения воды неизбежно образуются перенасыщенные растворы, которые являются неустойчивыми системами – стоит только бросить в раствор кристаллик того вещества, которое в нём растворено, как тот час же вокруг него начинают расти другие кристаллы. Растворимость сульфата кальция достигает максимума (2100 мг/л) при температуре около 40°C. Поэтому для предотвращения образования отложений сульфата кальция не следует допускать нагревания известкового раствора выше этой температуры. Для решения данной проблемы наиболее простым и технически возможным способом является орошение газов водой перед основной очисткой известковым молоком, подаваемой на входе газохода грязного газа в скруббер. В системах гидроочистки целесообразно использовать плоскофакельные струйные форсунки, различные типы которых выпускаются как отечественной, так и зарубежной промышленностью.

При существующей схеме очистки значительная часть отложений скапливается в конусе скруббера. Это связано с тем, что эта часть является «застойной» зоной, так как нет циркуляции. Также гидрозатвор и классификатор являются местом накопления отложений и источниками выделения загрязняющих веществ в воздух рабочей зоны. Гидрозатвор предусмотрен во избежание прорыва газа (роль сифона), однако он даёт большое сопротивление, что приводит к снижению скоростей потока раство-

ра, а как следствие, осаждению твёрдых частиц в конусе скруббера. Возможна следующая схема: отработанная суспензия направляется в циркуляционный сборник, в котором расположена мешалка для предотвращения оседания и отложения кристаллов сульфатов и сульфитов, далее отработанный раствор насосами подаётся на гидроциклоны, которые имеют высокую удельную производительность по обрабатываемой суспензии и сравнительно низкие расходы на строительство и эксплуатацию установки, после гидроциклонов шлам направляется в шламовые сборники, а очищенное известковое молоко – в скруббер.

Исследование влияние рН раствора на степень очистки и образование отложений проводились в лабораторных условиях на опытной установке. Для снижения роста отложений нам необходимо в скруббере удерживать ионы Са в виде бикарбонатов и гидросульфитов. Наиболее высокая эффективность очистки аглозатов от диоксида серы при наименьшей скорости формирования сульфосодержащих отложений достигается при плотности орошения 36–38 м³/м² ч и рН изменяющейся в пределах от 10,0 до 7,5.

Распространённым приемом подавления кристаллизации солей из растворов является реагентная обработка, заключающаяся в дозировании к ним ингибиторов кристаллизации. Наиболее эффективными и экономически оправданными являются те ингибиторы, которые обнаруживают «пороговый эффект», возникающий в случае, когда реагент покрывает микрокристаллические ядра образующегося осадка, замедляет их рост и удерживает в растворе во взвешенном состоянии при концентрациях выше уровня кристаллизации. Для подавления процессов отложения сульфосодержащих соединений, были применены широко известные химические вещества и комплексные соединения, производимые фирмой НАЛКО (США), а также некоторые доступные реактивы. Первым этапом было исследование влияния реагентов на рабочий раствор. Пробы рабочего раствора брали из гравитационного фильтра. Наблюдалось время осаждения по сравнению с контрольным рабочим раствором без добавления реагентов, рН, температура (по результатам экспериментов реагенты не влияют на температуру раствора и в дальнейшем она не контролировалась). Наиболее выраженный результат был при добавлении фенола: время осаждения при рН=12 и 7 увеличивалось по сравнению с контрольным раствором, на массовую долю сульфитов фенол значительно не повлиял, но снизил в 2 раза массовую долю сульфатов в растворе с рН=7,5. Следующим этапом было исследование влияния реагентов на отложения, которые не показали значительных результатов. Наиболее выраженные изменения были при использовании реагента 5200М: большая часть отложений разделилась на отдельные части при взбалтывании (через 24 ч после начала эксперимента).

Выводы:

1. Для снижения скорости роста отложений необходимо снизить температуру газов, установив на входе в скруббер систему орошения газом водой используя плоскофакельные форсунки.

2. Наиболее высокая эффективность очистки аглогазов от диоксида серы при наименьшей скорости формирования сульфосодержащих отложений достигается при плотности орошения $36\text{--}38 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ ч}$ и рН от 10,0 до 7,5.

3. Для подавления кристаллизации солей из поглотительного раствора рекомендуется использовать реагенты-ингибиторы.

4. Для снижения сульфосодержащих отложений в оборотной системе поглотительного раствора рекомендуется убрать гидрозатвор, гравитационные фильтр заменить на гидроциклон.

Список литературы

1. Касаткин А.Г. Процессы и аппараты химической технологии. М.: ГХИ, 1961. С. 830.
2. Крыленко В.И., Белоконь С.М. Очистка агломерационных газов от сернистого ангидрида. М., 1971. С. 1–6.
3. Защита атмосферы от промышленных загрязнений. Справочник: пер. с англ.: в 2 т. / под ред. С. Калверта и Г.М. Инглунда. М.: Металлургия, 1988. С. 530–531.
4. Розенкоп З.П. Извлечение двуокиси серы из газов. М., 1952.

УДК 628. 16

Е.В. Нефедова, И.А. Рачков

ИЗУЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Путем сравнения платы за загрязнение атмосферы и предотвращение экологического ущерба рассмотрена целесообразность открытия цементного производства в Новотроицке. Изучены особенности рециклинга металлургических шлаков в цементном производстве.

По количеству образующихся техногенных продуктов на душу населения Россия опережает все промышленно развитые страны мира. Города Орск и Новотроицк являются промышленным узлом металлургического производства. В данном районе находится такие предприятия, как: «ЮУГП», «Уральская сталь», «ЮжУралНикель». За время существования заводов рядом с ними накопилось огромное количество шлаков (Орск – 50 млн т, Новотроицк – 35 млн т). Поэтому ликвидация шлаковых отвалов сегодня стала одной из самых насущных задач охраны окружающей среды.

Тем не менее, строительство второго в городе цементного производства вызвало массовые протесты среди населения города. Эти протесты были обоснованы, так как уровень загрязнения атмосферы в городе чрезвычайно высок, и новое производство грозило еще большим загрязнением атмосферного воздуха. На сегодняшний день цементное производство открыто и функционирует.

Металлургические шлаки представляют собой силикатные системы с различным содержанием железа. Те же шлаки содержат тяжелые металлы, мышьяк, сурьму, остатки флотагентов и другие примеси, которые из отвалов и других накопителей отходов попадают в окружающую среду.

Одним из способов рециклинга металлургического шлака является цементное производство. На ЮУГПК используется сухой способ производства цемента. В качестве сырьевых материалов применяются отходы горного производства ООО «Южно-Уральская горноперерабатывающая компания» и металлургического производства ОАО «Урал Сталь». Технологическая схема производства цемента разработана фирмой ZAB IS Германия.

При сухом способе производства дробленые сырьевые материалы высушиваются и тонко измельчаются. Полученная сырьевая мука после корректирования и усреднения до заданного химического состава обжигается во вращающихся или шахтных печах. При сухом способе производства цемента на обжиг клинкера расходуется от 750 до 1200 ккал/кг клинкера, при мокром способе производства – от 1200 до 1600 и выше ккал/кг клинкера,

Содержание в шлаках CaO, SiO₂, Al₂O₃ достаточно высокое, это свидетельствует о пригодности шлаков для сырьевой смеси при производстве клинкера (табл. 1). Все шлаки прошли радиационный контроль и, по данным Госсанэпиднадзора, пригодны для использования при производстве строительных материалов.

От печной линии по переработке отходов горного и металлургического производства, ТЭЦ и вспомогательных производств, входящих в состав комплекса, в атмосферный воздух выделяется 16 загрязняющих веществ, в том числе 7 твердых и 9 газообразных и жидких. Пыль известняка классифицирована как пыль с содержанием SiO₂ < 20%. Пыль клинкера, пыль цемента, пыль глины классифицированы как пыль с содержанием 70–20% SiO₂. Пыль гипса классифицирована как кальция сульфат.

Таблица 1

Химический состав сырья для производства цемента

Элементы	Известняк	Глина	Шлак доменный, гранулированный	Шлак марте-новский, отвал	Шлак доменный, отвал
SiO ₂	0,98	55,31	38,6	15,20	36,8
Al ₂ O ₃	0,16	12,55	7,93	3,38	9,00
Fe ₂ O ₃	0,20	5,90	0,17	31,80	7,90
TiO ₂	0,01	0,73	0,48	0,57	0,60
CaO	54,50	6,49	42,31	30,01	37,10
MgO	0,74	3,01	7,16	9,98	4,80
SO ₃	0,03	0,10	1,09	0,13	1,62
K ₂ O	0,05	2,00	0,98	0,04	0,63
Na ₂ O	0,15	1,34	0,76	0,07	0,47
Cl	0,001	0,062	0,002	0,002	0,002
P ₂ O ₅	0,02	0,15	0	0,70	0

В атмосфере города постоянно присутствуют загрязнители: оксиды азота, серы, углерода, пыль доменная и мартеновская, пыль, содержащая оксиды железа. Но в качестве специфических загрязнителей нами выделены: пыль, содержащая оксиды кремния, бензапирен, органические загрязнители; пыль, содержащая оксид марганца. Так, например, бензапирен имеет свойство накапливаться в организме, оказывает мутагенное воздействие, химически стойкий. Пыль, содержащая оксиды кремния, и гипсовая пыль вызывает силикоз – общее заболевание организма, которое сопровождается нарушением функции дыхания, нарушением деятельности центральной и вегетативной нервной системы. Пыль, содержащая оксид марганца, поражает нервную систему, способствует развитию марганцевого паркинсонизма.

Таблица 2

Материальный баланс производства цемента

Материал		Расход, т	
		в сутки	в год
Шлак гранулированный доменный:	абсолютно сухой	993	326300
	влажностью 1,5%	1008	331230
Шлак мартеновский:	абсолютно сухой	168	55285
	влажностью 1.5%	171	56075
Известняк:	абсолютно сухой	2720	893550
	влажностью 3,0%	2804	921245
Глина:	абсолютно сухая	436	143190
	влажностью 12,0%	495	162705

Перечень загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу от оборудования печной линии, принят на основании данных фирмы-поставщика оборудования с учетом состава выделяющейся пыли [4].

Мы рассчитали годовой платеж за загрязнение атмосферы, он составил около 130 тысяч рублей в год. Расчет произведен согласно Методике определения платы за загрязнение окружающей среды [2].

Мы задались целью сравнить удельный вес изъятых отходов и произведенных выбросов с целью выявить экологическую обоснованность постройки печной линии по производству цемента.

В данной работе учитывалась только стоимость изъятия металлургических шлаков. Мы пользовались методикой расчета предотвращенного экологического ущерба от изъятия земельных угодий под складирование отходов [1].

Нам известно, что 35 млн т шлаков в ОАО «Уральская Сталь» занимают 130 га земельных угодий, следовательно, изъятие за год 381,5 тыс т шлака потенциально предупреждает загрязнение 1,4 га почв. По ценам 1996 года изъятие одного гектара земельных угодий составляет 79 млн руб./га, с учетом деминации 1998 года и с учетом инфляции на 2012 год – 1,08 млн руб./га.

$$\frac{35 \text{ млн т}}{130 \text{ га}} = \frac{381585}{X \text{ га}}$$

$X \text{ га.} = 1,41 \text{ га.}$

$Y_{\text{ПР}} = H_{\text{С}} \cdot S \cdot K_{\text{Э}} \cdot K_{\text{П}} = 1,8 \text{ млн р.} \cdot 1,41 \text{ га} \cdot 1,7 \cdot 1 = 2,58 \text{ млн р.}$

Здесь $Y_{\text{ПР}}$ – предотвращенный экологический ущерб; $H_{\text{С}}$ – норматив стоимости земель; S – площадь земель; $K_{\text{Э}}$ – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости территории; $K_{\text{П}}$ – коэффициент для особо охраняемых территорий.

Следовательно, предотвращенный ущерб составит примерно 2,5 млн руб., что значительно выше суммы платы за загрязнение. Сравнение цифр доказывает, что цементное производство в городе Новотроицке оправдано с экологической точки зрения. Будущее человечества – во внедрении новейших энерго- и ресурсосберегающих технологий, одной из которых является технология производства цемента на ЮУГПК.

Список литературы

1. Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба / Государственный комитет РФ по охране окружающей среды. Москва, 1999.
2. Инструктивно-методические указания по взиманию платы за загрязнение окружающей природной среды (утв. Минприроды РФ 26 января 1993 г.) (с изменениями от 15 февраля 2000 г.). М., 2000.
3. Рекус И.Г. Основы экологии и рационального природопользования. URL: <http://www.hi-edu.ru/e-books/xbook101/01/index.html?part-008.htm>
4. ЮУГПК. Реконструкция Аккермановского рудника. Печная линия по переработке отходов горного и металлургического производства, ТЭЦ с целью получения строительных материалов и бетонных изделий. ОВОС. ОАО «ЛЕНГИПРОМЕЗ», 2007.

УДК 504.6:627.233.7

И.Н. Семенова, Г.Ш. Кужина, Ю.Ю. Сергина

ФОРМЫ МИГРАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВЕРХОВЬЯ р. БЕЛАЯ

Проведено исследование распределения различных форм тяжелых металлов в донных отложениях верховья р. Белая, испытывающего антропогенное воздействие предприятий горнодобывающего и металлургического комплекса. Результаты исследования показали, что наиболее подвижными и, как следствие, биодоступными элементами являются Mn, Zn, Ni, Pb и Co. Доля минеральной формы для всех изученных металлов составила в среднем 87–99%.

Данное исследование является продолжением серии работ, посвященных комплексной оценке донных отложений (ДО) одной из главных

водных артерий Республики Башкортостан (РБ) – река Белая (Агидель). В ходе работы накоплен материал о содержании и распределении тяжелых металлов (ТМ) в ДО её верховья, испытывающего антропогенное воздействие предприятий горнодобывающего и металлургического комплекса.

Из литературных источников известно, что в природных экосистемах биологическая доступность, подвижность и токсичность ТМ существенно зависят от форм их нахождения и типа связи с матрицей образца грунтов (Линник и др., 1986).

Цель работы – анализ пространственного распределения содержания различных форм металлов (Cu, Zn, Fe, Mn, Pb, Cd, Co, Ni) в донных осадках верховья реки Белая.

Материалом для работы послужили образцы ДО, отобранные в соответствии с МУ РД 52.18.685 в летний период 2012 г. на территории Белорецкого района РБ. Наблюдательная сеть включала 5 створов на р. Белая: 1 и 2 – до и после впадения р. Тирлян; 3. – Бельский мост близ ОАО «Белорецкий металлургический комбинат»; 4 и 5 – до и после Пугачевского карьера.

Содержание подвижной (кислоторастворимой) и минеральной (детритной) прочносвязанной форм металлов в пробах ДО определяли атомно – абсорбционным методом в лаборатории обогатительной фабрики Сибайского филиала Учалинского горно-обогатительного комбината. Общее содержание элемента в образце рассчитывали как сумму ранее определенных форм (Кукина и др., 2009). Статистическую обработку данных проводили общепринятыми методами.

Значения содержания форм металлов в верхнем слое донных осадков исследуемого водотока показаны в таблице.

Содержание подвижной и минеральной форм тяжелых металлов в донных отложениях верховья реки Белая

Створ	Концентрация, мг/кг							
	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Cd	Co	Ni
1	1/129	35/305	193/31025	77/663	6/53	0,03/5	0,03/11	10/82
2	0,2/38	34/190	126/27325	39/455	0,03/10	0,03/4	2,3/14	4/53
3	4/117	61/268	90/37950	146/2085	9/45	0,03/4	3,3/18	8/104
4	0,3/32	12/178	62/30675	30/605	0,03/4	0,03/4	3/17	7/100
5	0,13/17	24/200	66/15375	69/513	0,03/2	0,03/4	3/14	10/45

Примечание. Числитель – подвижная форма; знаменатель – минеральная форма элемента.

Подвижные формы элементов в пробах ДО определяли путем экстракции ацетато-аммонийным буфером (ААБ, рН 4,8). Используемый экстрагент высвобождает в раствор металлы, занимающие ионообменные позиции, которые связаны с легкорастворимыми соединениями Fe и Mn, карбонатами. Сумма этих компонентов составляет наиболее подвижную и био-

доступную фракцию ТМ в грунтах (Кукина и др., 1999). Значительные количества кислоторастворимой формы найдены для металлов Mn, Zn, Ni, Pb и Co (см. таблицу). Доля подвижной формы от общего содержания составила в среднем для Zn и Co 13%; Pb – 12%; Ni и Mn – 9 и 8% соответственно. Для остальных металлов эта доля составила до 1%. Считая, что содержание подвижной кислоторастворимой формы в балансе элемента является характеристикой его геохимической подвижности и, как следствие, биодоступности, изученные элементы можно расположить в следующий ряд (по возрастанию подвижности): Fe < Cd < Cu < Mn < Ni < Pb < Zn=Co. Следует отметить, что для кадмия и кобальта наблюдается равномерное распределение содержания подвижной формы по всей длине исследуемого участка р. Белая.

Минеральные прочносвязанные соединения металлов в исследованных образцах ДО верховья р. Белая являются преобладающими. Их содержание определяли путем полного кислотного разложения в смеси кислот HNO₃:HCl: HF. К этой фракции относятся элементы, интегрированные в кристаллическую решетку глинистых минералов, входящие в состав детрита, который связан с устойчивыми органическими и Fe/Mn – соединениями (Кукина и др., 2002). Доля минеральной формы для всех изученных металлов составила в среднем 87–99%.

Сравнение средних значений общего содержания ТМ в грунтах верховья р. Белая позволило расположить их в следующий убывающий ряд: Fe > Mn > Zn > Cu > Ni > Pb > Co > Cd. Установлено, что в их распределении по длине реки наблюдалась определенная неравномерность, связанная с влиянием природных условий района исследования, гидродинамическими параметрами исследуемого водотока, наличием источников загрязнения, а также различием в качественных характеристиках грунтов реки Белая.

Список литературы

1. Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 272 с.
2. Методические указания. Определение массовой доли металлов в пробах почв и донных отложений. Методика выполнения измерений методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2006. 30 с.
3. Кукина С.Е., Корнеева Г.А., Бек Т.А. Формы металлов в донных отложениях прибрежной зоны Кандакшского залива Белого моря // Геология, география и экология океана: материалы Междунар. науч. конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Д.Г. Панина (8-11 июня 2009). Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. С. 194–197.
4. Формы металлов в донных отложениях некоторых эстуариев бассейна Белого и Баренцева морей / Кукина С.Е., Садовникова Л.К., Калафат-Фрау А., Палеруд Р., Хуммель Х. // Геохимия. 1999. №12. С. 1324–1329.
5. Распределение металлов во взвешенном веществе и донных отложениях эстуария реки Северная Двина / Кукина С.Е., Садовникова Л.К., Калафат-Фрау А., Хуммель Х., Реголи Ф. // Океанология. 2002. Т.42.

А.А. Осипов

ВЛИЯНИЕ ЩЕЛОЧНОГО АЭРОЗОЛЯ НА ВЕЧНОЗЕЛЕННЫЕ КОМПОНЕНТЫ УРБОСИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ г. МАГНИТОГОРСКА

Актуальность, научная значимость и практическая значимость работы заключается в совершенствовании принципов экологического нормирования, способов реабилитации урбосистем с учетом рационального природопользования и совершенствовании программ комплексного мониторинга урбосистем с комплексами горной, черной металлургии и «известковой индустрией».

В пределах урбосистем растительные сообщества находятся под мощным техногенным воздействием. Наибольшую нагрузку растения испытывают в городах, в атмосферный воздух которых поступают в больших количествах различные промышленные и транспортные выбросы. Действие атмосферных примесей угнетает наиболее чувствительные компоненты городских фитоценозов и ведет к деградации последних. Деградированные растения не осуществляют экологическое функционирование должным образом, то есть не способствуют реабилитации урбосистем и не соответствуют архитектурно-планировочным требованиям [1,2].

Основной задачей данных исследований является оценка влияния щелочного аэрозоля на ели и сосны города Магнитогорска. Концентрации веществ в атмосферном воздухе, вызывающие отрицательные реакции у некоторых видов растений, могут не превышать установленные на данный момент времени значения ПДК и не вызывать видимого ухудшения самочувствия людей, но могут стать причиной деградации городских лесопосадок [3].

Наличие в воздухе известковой пыли обусловлено присутствием в черте города заводов по производству стройматериалов и предприятия черной металлургии. Щелочная пыль, осаждаясь на хвое, смачивается и в дальнейшем, высыхая, образует твердую корку, которая покрывает иглы хвойных пород деревьев. Такая корка не только уменьшает светопоглощение и ухудшает газообмен, но и механически препятствует росту хвои. Щелочные растворы, образующиеся при взаимодействии осадков с известковым налетом, вызывают ожоги хвои, открывают путь инфекции и вызывают хвойный опад [4]. Вследствие такого воздействия хвоя осыпается и формируется апикальное охвоение веток, когда на ветках остается апикально располагающаяся самая молодая, не успевшая заизвестковаться, хвоя.

Таким образом, под влиянием вышеизложенных факторов происходит деградация вечнозеленых насаждений, которая, в конечном итоге, может привести к их гибели.

Источниками известкового аэрозоля в г. Магнитогорске служат Цементный завод, доменное производство (использование флюса), долами-

товый карьер и доломитово-обжиговое производство Агаповки, сталеплавильное, агломерационное производство.

В работе оценивалась величина годичного прироста веток. Объектами исследования являются сосна обыкновенная, находящаяся вблизи дворца спорта «ММК» (ост. Химчистка) и голубая форма ели канадской, расположенная у центрального входа МГТУ им. Г.И. Носова.

Результаты и их обсуждение

Из табл. 1 видно, что годичный прирост веток сосны обыкновенной в 2012 году составил 4,63 см, а прирост веток елей канадских 7,41 см. Сравнение полученных результатов с данными за 2005 год (табл. 2) указывает на увеличение годичного прироста веток на 1 см. Отсюда можно сделать вывод о положительной динамике данного показателя. Из табл. 2 видно, что на фоновой территории (пос. Кусимово) прирост веток елей канадских составил 12,5 см, так как дом отдыха находится в санаторной зоне, на значительном удалении от источников выбросов щелочного аэрозоля. Если сравнивать показатели годичного прироста веток елей канадских на фоновой территории и в пределах г. Магнитогорска, то можно прийти к выводу, что щелочной аэрозоль оказывает значительное воздействие на вечнозеленые растения, произрастающие в непосредственной близости от источников выбросов.

Таблица 1

Годичный прирост веток ели канадской и сосны обыкновенной, 2012 г.

Название массива	R	Θ	Mo	Me (д.)	Me (инт.)	X±m	δ	V, %	n
Сосна обыкновенная (Ост. Химчистка)	13,5	1,61	4,16	4,2	4,37	4,63±0,10	2,18	47,03	480
Ель канадская (МГТУ им. Г. И. Носова)	15,5	2,03	7,6	7,5	7,47	7,41±0,09	2,60	35,06	930

Таблица 2

Годичный прирост веток ели канадской и сосны обыкновенной, 2005 г. (по Коробовой Н.Л., 2005)

Название массива	X±m	δ	V, %	n
Сосна обыкновенная (Ост. Химчистка)	3,61±0,2	1,5	41	40
Ель канадская (МГТУ им. Г. И. Носова)	6,5±0,1	2,3	34,8	534
Ель канадская (пос. Кусимово)	12,5±0,2	2,95	23,7	227

Наличие щелочного аэрозоля выражается значениями рН снега [5]. Снег – один из механизмов самоочищения атмосферы. Его химический состав формируется при взаимодействии атмосферной влаги с твердыми и жидкими веществами Земли [6]. В случае присутствия карбонатов Са и Mg в воздухе, метеоводы обогащаются этими веществами и соответственно подщелачиваются. Подобное подщелачивание наблюдали авторы, исследовавшие снег в городах, содержащих в своей инфраструктуре предприятия черной металлургии, а также известковые и доломитовые карьеры [7].

Вследствие вышеуказанного и с целью выявления возможного действия различных выбросов КХП на реакцию снега были проведены исследования рН снега на предприятии ОАО «ММК», а именно в непосредственной близости от коксохимического производства.

Были получены следующие результаты:

Таблица 3

Значения рН снега коксохимического производства

Название массива	R	θ	Mo	Me (д)	Me (инт)	X±m	Δ	V, %	n
Точка пробоотбора № 1	0,08	0,03	-	10,14	10,16	10,14±0,02	0,03	0,32	3
Точка пробоотбора № 2	0,14	0,05	-	9,63	9,66	9,63±0,03	0,06	0,59	3
Точка пробоотбора № 3	0,1	0,03	-	8,26	8,28	8,26±0,02	0,04	0,49	3

Из табл. 3 видно, что наибольшее значение в точке пробоотбора №1 (рН=10,14), что объясняется наибольшей близостью точки пробоотбора к доменному производству, а следовательно, наибольшим влиянием неорганизованных выбросов доменного производства, содержащих флюс, который используется в качестве раскислителя. В качестве флюса используется щелочной материал, что служит причиной подщелачивания снега.

Наименьшее значение (рН=8,26) встречается вблизи от загрузки вагонов сульфатом аммония (точка пробоотбора №3). Сульфат аммония представляет собой гидролитически кислую соль, следовательно, присутствие этого аэрозоля в воздухе будет подкислять метеорные воды, а учитывая влияние подщелачивающего действия неорганизованных выбросов доменного производства, значения рН снега приобретают слабощелочной характер.

Точка пробоотбора №2 располагается в непосредственной близости от коксовой батареи. Значения рН снега достигают 9,63, что может быть объяснено суммарным действием щелочных неорганизованных выбросов доменного производства и некоторым подкисляющим действием угольной пыли от коксовой батареи.

В районе МГТУ им. Г.И.Носова на тот момент изменений не наблюдалось. В 2005 году на цементном заводе г.Магнитогорска начали последовательно вводить в эксплуатацию электрофильтры типа ЭГБМ-30-7,5-6-3. Значения рН снега вблизи МГТУ им. Г.И.Носова снизилось до рН=6,78–7,0 по сравнению с 1999-2001 гг. рН≈8–8,5 [5,8], очевидно, этим объясняется увеличение годового прироста веток елей канадских.

Выводы:

1. Сравнительный анализ величин прироста веток елей канадских г. Магнитогорска и пос. Кусимово показывает, что значения показателя в пределах городской территории в 2 раза меньше значений показателя фоновой территории. Очевидно, что при хорошо выраженной щелочной реакции снега значения прироста веток елей существенно снижаются, так как щелочность снега обуславливается присутствием щелочного аэрозоля в воздухе г. Магнитогорска. Можно сделать вывод, что именно наличие ще-

- лочного аэрозоля в атмосфере г. Магнитогорска является основной причиной уменьшения прироста веток елей.
- Исследуемый показатель может рассматриваться как чувствительный и использоваться в комплексном мониторинге урбосистем с «известковой индустрией» и горной металлургией.
 - В городах с известковой индустрией рекомендуется сажать быстрорастущие листопадные деревья: тополь, березу, лиственницу, липу.
 - Рассматриваемые в данной работе породы деревьев (сосна обыкновенная и голубая форма ели канадской) можно использовать в качестве экологических мишеней, так как они очень чувствительны к присутствию щелочного аэрозоля в воздухе.

Список литературы

- Маслов Н.В. Градостроительная экология. М.: Высш. шк., 2003. С. 5–200.
- Машинский В.Л., Залогина Е.Г. Проектирование озеленения жилых районов. М.: Стройиздат, 1978. С. 7–115.
- Коробова Н.Л. Влияние выбросов известковых карьеров на хвойные породы деревьев // Экология и промышленность России. 2003. №10. С. 26–27.
- Коробова Н.Л. Почему засохли елки? // Проблемы экологии Южного Урала. 1999. №1. С. 17–19.
- Коробова Н.Л. Экология и горное производство. Магнитогорск: МГТУ, 2001. С. 3–68.
- Самарина В.С. Гидрогеохимия. Л.: ЛГУ, 1978. С. 115–478.
- Дончева А.В., Казакова Л.К., Калуцков В.Н. Ландшафтная индикация загрязнения природной среды. М.: Экология, 1992. С. 90–210.
- Коробова Н.Л. Оценка пространственной динамики годового прироста елей канадских г. Магнитогорска // Проблемы и перспективы современной науки. Томск, 2009. №1. С. 67–68.

УДК 622.785.5

Ю.А. Галкин, Д.О. Дробный, О.Ф. Дробный

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ РАЗЛОЖЕНИЯ ОТРАБОТАННЫХ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ ЛПЦ-5 ОАО «МАГНИТОГОРСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ»

В статье изложены результаты промышленного применения технологии обезвреживания смазочно-охлаждающих жидкостей с целью очистки сточных вод прокатного производства для их последующего использования в оборотном цикле ОАО «ММК». Указанная технология основана на применении реагента «СФ-А2» в сочетании с флокулянтами катионного и анионного типов марки «Аквапол».

Смазочно-охлаждающие жидкости являются обязательным элементом большинства технологических процессов обработки металлов резанием и давлением. В условиях больших статических и динамических нагрузок, высоких температур и воздействия обрабатываемого материала на режущий инструмент и прокатное оборудование основное назначение СОЖ – уменьшить температуру, силовые параметры обработки и износ валков, обеспечить удовлетворительное качество обработанной поверхности. Применение СОЖ при обработке металлов давлением позволяет снизить трение между валками и полосой, шероховатость обработанных поверхностей, а также обеспечивает их охлаждение.

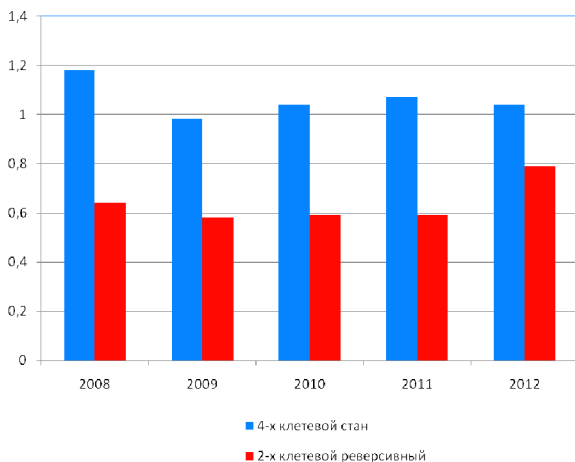
Наиболее часто применяемые СОЖ являются стабилизированными масляными.

В настоящее время в ЛПЦ-5 используются смазочно-охлаждающие жидкости различного состава полусинтетического происхождения. Качественно-количественный состав отработанных СОЖ ЛПЦ-5 непостоянен и по основным компонентам-загрязнителям характеризуется следующими показателями, г/л: взвешенные вещества 1,0–20,0; общие масла 2,5–15,0; железо 0,175–0,350; ХПК – до 50,0; рН 4,8–6,7. Количество отработанной эмульсии составляет около 200 м³/сут. На рисунке представлен удельный расход СОЖ, кг/т продукции.

Существующие технологии обезвреживания эмульсий являются многостадийными и использование в большинстве технологий в качестве деэмульгаторов кислот и щелочей, а также коагулянтов на основе неорганических солей алюминия и железа ($Al_2(SO_4)_3$, $FeSO_4$, $FeCl_3$, $Al_2(OH)_5Cl$ и др.) приводит к образованию трудноутилизуемых жидких нефтешламов в больших количествах (до 300 кг на 1 м³ СОЖ) и засолению водной фазы, что не позволяет повторно использовать воду без дополнительных значительных затрат на ее очистку.

Отличительной особенностью реализованного в ОАО «ММК» технологического процесса разложения эмульсий является применение реагентов с сорбционно-флокуляционным механизмом действия. Обработка - двухреагентная. В качестве флокулирующего сорбента используется специально разработанный для условий ЛПЦ-5 композиционный реагент марки «СФ-А2». Данный реагент представляет собой высокодисперсное сыпучее гидрофобно-гидрофильное соединение на основе активированных алюмосиликатов. Реагент дозируется в виде водной суспензии концентрацией 110 г/дм³.

Для достижения более полного разложения эмульсии и формирования осадка, способного к обезвоживанию, в реализуемой технологии в качестве вспомогательного реагента дополнительно применяется катионный флокулянт «Аквапол-ФТ2К» в виде раствора с рабочей концентрацией 0,2%. Так как состав отработанных эмульсий постоянно изменяется, в технологической схеме предусмотрена возможность использования также и анионного флокулянта «Аквапол-ФТ2».



Удельный расход СОЖ на станах ЛПЦ-5, кг/т, выпускаемого проката

Физико-химическая сущность представленной реагентной технологии в общем виде заключается в том, что на первой ступени, в результате обработки флокулирующим сорбентом «СФ-А2», в жидкой системе в совокупности одновременно протекают процессы сорбции, изоморфного обмена, гетерокоагуляции (гетероадагуляции) и флокуляции. Дисперсные частицы реагента выступают в качестве искусственно вносимых в обрабатываемую среду центров мицеллообразования, энергетически снижают потенциальный барьер образования микромицелл и создают условия локального пересыщения в обрабатываемой среде, что способствует увеличению скорости адсорбции коллоидных и микроколлоидных частиц загрязнителей на их поверхности. Последовательное увеличение количества активированной твердой фазы приводит к возрастанию числа эффективных соударений и, как следствие, к ускорению процесса гетерокоагуляции. За счет присутствия в составе флокулирующего сорбента модификаторов с высокой молекулярной массой, поверхность частиц реагента обладает множеством разноименно заряженных активных центров, которые отличаются не только по знаку заряда, но и по величине. Данное обстоятельство обуславливает взаимодействие частиц по флокуляционному механизму ассоциации (частиц) с образованием укрупненных седиментационно неустойчивых агрегатов, состоящих из «активного начала» флокулирующего сорбента и ингредиентов-загрязнителей.

В результате реагентной обработки, на основе флокулирующего сорбента, формируется «флокуляционно-коагуляционная» структура периодического характера, компактность которой определяется химической природой обрабатываемой среды.

На второй ступени реагентной обработки, за счет обработки высокомолекулярным полиэлектролитом «Аквапол-ФТ2К», происходит интен-

сификация процесса формирования крупных седиментационно неустойчивых хлопьеобразных агломератов отработанного сорбента и разделение фаз на осветленную (очищенную) воду и структурированный осадок, содержащий ингредиенты-загрязнители.

Процесс разложения обеспечивается дозой флокулирующего сорбента «СФ-А2» 1,5–6 г/дм³, ионогенных полиэлектролитов – 10–60 мг/дм³.

Вышеуказанная схема реагентной обработки практически исключает увеличение солесодержания, изменение рН и других химических показателей очищенной воды, позволяет получить очищенную воду с остаточным содержанием нефтепродуктов в среднем на уровне от 2 до 8 мг/дм³, при нормативно-допустимом 20,0 мг/дм³. Поэтому очищенная вода может использоваться в оборотных системах предприятия, а также идти для приготовления исходных рабочих эмульсий или растворов реагентов. В процессе очистки эмульсии получается легкосжимаемый маслошлам четвертого класса опасности.

Технологический процесс обезвреживания отработанных СОЖ с помощью сорбционно-флокуляционных реагентов относительно дешевле (стоимость очистки отработанной эмульсии составляет в среднем 60 руб./м³), имеет простое аппаратное оформление. Процесс очистки ведется в циклическом режиме. Номинальная производительность очистной установки – 560 м³/сут. В качестве основных аппаратов для разложения эмульсии использованы существующие технологические резервуары с их реконструкцией и оснащением перемешивающими устройствами.

Результаты очистки отработанной эмульсии на установке в условиях ЛПЦ-5, на примере индивидуального цикла обработки в единичном реакторе, приведены в таблице.

Эффективность очистки отработанной эмульсии
с применением сорбционно-флокуляционной технологии

Наименование показателя	Единицы измерения	Исходная эмульсия	Осветленная вода	Эффект очистки, %
Водородный показатель	(рН)	6,4	7,2	–
Щелочность	ммоль/дм ³	–	1,6	–
Жесткость	ммоль/дм ³	–	1,7	–
Сухой остаток	мг/дм ³	–	380,0	–
Прозрачность	%	–	77,5	–
Взвешенные вещества	мг/дм ³	–	18,0	–
Нефтепродукты	мг/дм ³	3880,00	4,3	99,9
ХПК	мг/дм ³	49980,0	403,2	99,2
Железо	мг/дм ³	–	0,2	–

Выводы. Традиционные технологии очистки отработанных СОЖ не позволяют получить воду высокого качества. Разработанная технология обезвреживания СОЖ может использоваться в большинстве прокатных производств предприятий черной металлургии, вне зависимости от со-

става и вида используемых эмульгаторов и стабилизаторов, степени их устойчивости за счет применения реагента «СФ-А2» в сочетании с флокулянтами катионного и анионного типов марки «Аквапол», при соответствующем аппаратурном оформлении. Данная технология может быть применена для разложения практически любых полусинтетических эмульсий, которые используются. Полнота разложения и качество выделенной из эмульсии осветленной воды, определяется составом и концентрацией обрабатываемой эмульсии, а также комбинацией и составом реагентов, используемых для обработки. Высокое качество очищенной воды позволяет использовать ее для технического водоснабжения.

УДК 331.45:614.8:519.25

Э.И. Соколова

ПРИМЕНЕНИЕ КАНОНИЧЕСКОГО И РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ КОРРЕЛЯЦИИ ФАКТОРИЗОВАННЫХ УСЛОВИЙ ТРУДА И ТРАВМАТИЗМА В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Приведены результаты факторного анализа статистической обработки данных аттестации 80 рабочих мест по 13 параметрам условий труда на предприятиях черной металлургии. Построены регрессионные модели откликов массива Т (травматизм) на массив F (условия труда). Установлена максимальная каноническая связь массивов на уровне 61,6%.

В настоящее время все чаще предпринимается попытка оценки производственного риска посредством результатов аттестации рабочих мест. Так, для анализа производственного риска в цехах ОАО «ММК» был проведен анализ условий труда на рабочих местах. При обработке данных были использованы результаты аттестации 80 рабочих мест (n=80), проведенной в различных цехах черной металлургии. Оценка проводилась по следующим параметрам производственной среды и травматизма:

✓ Массив Условия труда (У): **Y1** – уровень шума; **Y2** – искусственная освещенность рабочей поверхности; **Y3** – общая вибрация; **Y4** – кремний диоксид кристаллический при содержании в пыли от 2 до 10% (горючие кукуерситные сланцы, медносульфидные руды и др.); **Y5** – железный агломерат; **Y6** – кремний диоксид аморфный в смеси с оксидами марганца в виде аэрозоля конденсации с содержанием каждого из них не более 10%; **Y7** – углерод оксид; **Y8** – марганец в сварочных аэрозолях при его содержании: до 20%; **Y9** – кальций оксид; **Y10** – железо и его соединения; **Y11** – хром (VI) триоксид; **Y12** – аэрозоль смешанного состава; **Y13** – марганца оксиды (в пересчете на марганец диоксид).

✓ Массив Травматизм (Т): **T1** – причины травмы; **T2** - место происшествия; **T3** - вид происшествия; **T4** - степень тяжести травм.

В ходе анализа условий труда микроклимат не рассматривался, т.к. трудности возникают в оценке данного фактора. При проведении замеров и нормирования необходимо учитывать период (холодный, теплый), тип цеха (горячий, холодный), категорию работ, хронометраж рабочего дня и т.д. Все это критериально разобщает возможность сопоставления и сравнения работников разных специальностей или работников одной профессии, но разных цехов и т.д. Поэтому в рамках данной работы микроклимат, как гигиенический параметр производственной среды, не рассматривается.

Сопоставление результатов оценки условий труда, полученных при аттестации рабочих мест, трудно поддаются дальнейшему регрессионному и/или дисперсионному анализам ввиду большого количества признаков со слабой корреляцией многих из них с откликами по травматизму и критериев, оцениваемых экспертами. Факторный анализ [1], основанный на методе главных компонент, позволил сократить многомерное пространство с минимальными потерями информации, выявить ортогональные латентные переменные и продолжить анализ методом классической регрессии.

При обработке исходных данных брались не наблюдаемые значения параметров производственной среды, а их относительные величины (отношение фактических к предельно допустимым уровням).

В ходе проведенной факторизации были получены собственные числа, представленные на рис.1. Исходя из диаграммы, очевидно, что необходимо взять 4 фактора, которые могут обеспечивать вариацию около 70% исходной системы данных.

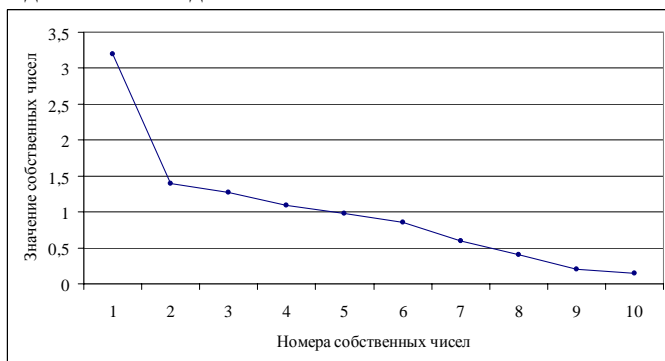


Рис. 1. Собственные числа матрицы

Тогда названия факторов представлялись бы естественно по названию тех исходных переменных, которые имеют максимальную по модулю проекцию $|\Gamma_{ij}|$ на соответствующий фактор: **F1** – химические факторы, характерные для основных металлургических переделов; **F2** – аэро-

золи преимущественно фиброгенного действия; $F3$ – виброакустический; $F4$ – химические факторы, характерные для горно-обогачительного производства.

Получив матрицу текущих значений факторов, можно переходить к методу регрессии на главных компонентах [2]. Для выявления результативности предпринятого анализа представляли интерес отклики на варьируемые переменные массива данных T . Обработка данных выполнялась в системе STATISTICA [3]. В ходе исследования были получены уравнения регрессии на главных компонентах для 4 откликов по травматизму (табл.1).

Таблица 1

Уравнения регрессии и коэффициенты множественной корреляции

Уравнения регрессии	Коэффициент множественной корреляции
$T1=0,29-0,032*F3$	0,24
$T2=1,2750+ 0,1129*F2 +0,1188* F3+ 0,1267*F4$	0,42
$T3=0,32-0,068F1-0,064F2$	0,51
$T4=3,05 - 0,28*F2 + 0,20*F4$	0,33

Полученные регрессионные модели, построенные на латентных переменных, фактически включают в себя все первичные переменные, принятые к статистической обработке. Коэффициент детерминации, а также и коэффициент множественной корреляции R_j статистически значимы и регрессионные модели адекватны.

Далее была предпринята попытка определения связи между массивами многомерных данных с использованием метода канонического анализа [4]. Задача поиска максимальной связи является задачей на условный экстремум функции нескольких переменных и решается с помощью метода множителей Лагранжа.

Значения величин канонической корреляции по каждому найденному корню, статистические достоверности вычисленных значений собственных чисел приведены в табл.2.

Таблица 2

Оценка статистически значимых определяемых корней по χ^2 - критерию

Номер корня	Коэффициент корреляции R	Квадрат коэффициента корреляции R^2	Критерий	Число степеней свободы df	Уровень значимости p
1	0,615631	0,379001	57,07287	16	0,000002
2	0,454442	0,206518	21,57910	9	0,010331
3	0,237287	0,056305	4,34545	4	0,361288
4	0,019388	0,000376	0,02801	1	0,867086

Из табл.2 следует, что только 2 первых линейно независимых решения оказались статистически значимы. Таким образом, установлено, что

максимальная связь между условиями труда и травматизмом принимает значение $\max \rho_{UV} = 0,6156$. При этом степень детерминации $\max \rho_{UV}^2 = 0,3790$ в случае многомерного моделирования возрастает на 40% по сравнению с одномерным моделированием отдельных откликов по травматизму.

Другое независимое решение $\rho_{UV} = 0,4544$ находится в пределах средних значений полученных ранее решений для одномерных откликов.

Канонические веса для соответствующих наборов переменных по каждому корню приведены в табл.3.

Данные табл.3 показывают, какие конкретно исходные признаки определяют в большей степени ту или иную i -пару канонических переменных исходя из абсолютных весов вычисленных координат векторов.

Для наглядности максимальная корреляционная связь многомерных массивов F (факторизованных условий труда) и T (травматизма) показана на рис.2.

Таблица 3

Канонические веса по двум массивам F и T для всех определяемых корней

Номер корня	1	2	3	4
F01	0,964086	0,197583	-0,102320	0,145020
F02	-0,160136	-0,100344	-0,589331	0,785478
F03	-0,199874	0,927554	-0,284935	-0,136036
F04	-0,070330	0,300891	0,749020	0,586078
T1	-0,033851	-0,478588	0,458764	-0,770727
T2	0,487048	-0,705449	0,032674	0,542924
T3	0,846385	0,282599	-0,420064	-0,241720
T4	-0,244262	-0,540829	-0,801659	-0,166108

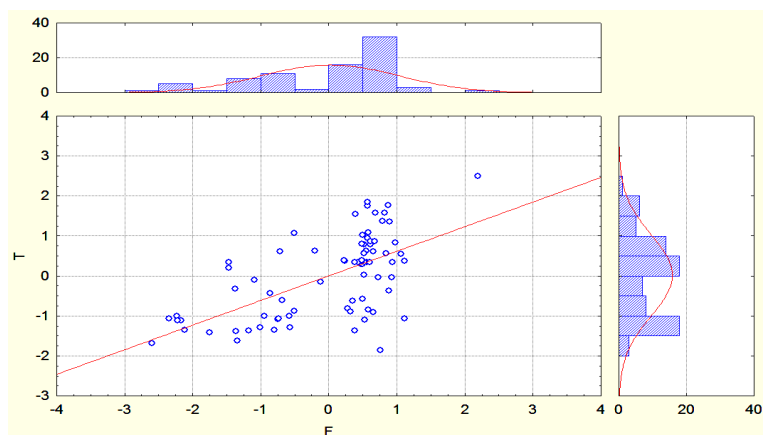


Рис. 2. Корреляционное поле канонических переменных, совмещенное с гистограммой распределения данных по ним

При завершении целевого исследования обращаем также внимание на практически одинаковую информационную ценность исследуемых массивов F и T.

Список литературы

1. Девятченко Л.Д. Главные компоненты информационных матриц. Введение в факторный анализ. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И.Носова, 2000. 95 с.
2. Девятченко Л.Д. Линейная модель. Введение в классический регрессионный анализ. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И.Носова, 2004. 128 с.
3. Боровиков В.П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. 2-е изд. СПб.: Питер. 2003. 688 с.
4. Девятченко Л.Д. Линейная корреляция. Введение в канонический анализ. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2002. 87 с.

УДК 159.923.2

С.В. Петров

СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ КОНФЛИКТОГЕННОСТИ В ДИАДЕ «ПРЕПОДАВАТЕЛЬ-СТУДЕНТ» ПРИ ПОМОЩИ РАЗВИТИЯ ЭМПАТИИ СТУДЕНТОВ ВУЗА: ОБЩИЕ АСПЕКТЫ

Рассмотрены общие моменты, касающиеся эмпатии и особенностей ее проявления у студентов вуза. Дано понятие термину «эмпатия», изучена история возникновения термина, выделены критерии и функции эмпатии, актуальность изучения для современного образования. В статье указывается на необходимость развития эмпатии у студентов вуза в связи с современными глобализационными общественными процессами.

Современный мир динамично развивается. Ранее, в прошлых веках, вызовы времени ставили перед обществом новые задачи достаточно редко. Теперь общество и вместе с ним образование сталкиваются с изменениями структуры почти каждое новое десятилетие. Связано это, прежде всего, с бурным развитием технологий. Технологии полувековой давности кажутся нынешнему молодому поколению продуктами каменного века, при этом старшее поколение не всегда успевает шагать в ногу со временем и адаптироваться к новым веяниям прогресса.

Второй, не менее важной, характеристикой современного образования является его гуманистическая направленность, нацеленная на развитие и, на данном этапе это особенно важно, на уважение индивидуальных характеристик человека.

Под влиянием социальных изменений последних двух веков люди все больше осознают свою индивидуальность и, соответственно, передают ее следующему поколению. Получение человеком прав и свобод подготовило почву для открытого высказывания своего мнения и, как гласит

модель нынешней демократии в развитых странах, каждое мнение должно учитываться. Однако данная модель несет в себе потенциальную конфликтность в межличностном общении в связи с возможностью открыто высказывать и отстаивать любое мнение.

Мы живем в эпоху тотальной интеграции между различными государствами и народностями, возможной благодаря открытым границам между странами и информатизации практически всех сфер деятельности. Взаимопроникновение между странами означает обмен и передачу традиций, опыта, морали и других элементов, которые не всегда находят положительный эмоциональный отклик у носителей иных культур. На первый план выходит вопрос о толерантности и терпимости друг к другу. Однако в нашей стране, с учетом менталитета, традиций и морально-этических норм, не всегда возможно принятие ценностей западного или восточного обществ. В связи с этим, процесс толерантности, о котором мы говорим, заключается не в перенятии опыта и традиций иных культур, а терпимости и готовности мириться с их нормами без ущерба для собственных ценностей и норм.

Данный процесс таит в себе опасность, в частности, опасность переканания «толерантности» с ее взаимным уважением и принятием друг друга в «нравственный нигилизм», когда уважение к выбору других людей переходит в равнодушие, безнравственность и отрицание значимости общепризнанных моральных и культурных ценностей. Философ М. Хайдеггер прямо говорил о данном явлении как «магистральном движении в истории Запада, которое может привести к мировой катастрофе» [7].

Перенятие новых ценностей характерно для российского общества как общества переходного периода. Также это относится и к современному российскому образованию. Для преодоления негативных тенденций, пагубно влияющих на социум, на наш взгляд, может служить процесс развития эмпатии и эмпатического потенциала, в частности, у студентов вуза как растущего поколения.

Обратимся к литературным источникам по данной тематике.

Общегуманитарной средой принятия эмпатии как предмета научного и философского анализа оказалась набравшая максимальную популярность в начале прошлого века ориентация к психологизации наук о человеке и обществе.

Один из основоположников гуманистической психологии К. Роджерс ввел понятие «эмпатического понимания», в котором он видел «умение и возможность четко воспринимать чувства и эмоции других людей» [9]. В дальнейшем, К. Роджерс выдвинул свое определение эмпатии как «... способа существования с другим человеком... Это значит быть сензитивным к изменениям чувственных значений, непрерывно происходящих в другом человеке» [9]. Стоит отметить, что автор особое внимание уделял процессу нахождения во внутреннем мире человека. Автор утверждал, что необходимо оставаться в данном состоянии лишь виртуально, без отрыва от своего Я, иначе данный процесс может перейти в иное состояние, под названием «идентификация» [7].

Научная психология переняла термин «эмпатия» из философии начала XX века, где в некоторых дисциплинах философии (эстетика, этика) употреблялся схожий «эмпатии» термин «симпатия» [1]. В трудах философов конца XIX века под симпатией подразумевалось «естественное свойство человеческой души сочувствовать, сострадать другому человеку, регулирующее взаимоотношения между людьми, как основе совести, справедливости и альтруизма» [1].

Кроме того, тематика «эмпатии» косвенно затронута в «теории вчувствования», предложенной психологом Т. Липпсом в начале прошлого века. Т. Липпс утверждал, что «вчувствование» – это «специфический вид познания сущности предмета или объекта» [8]. Новизна его идей заключалась в перенесении и проекции эмоций субъекта на предмет, будь то архитекта, искусство и, можем утверждать, что и другой человек, в нашем случае, на объект коммуникации. Видимые и воспринимаемые сигналы вызывают у личности рефлексию, и объект наделяется набором характеристик как проекция индивидуальных мыслей и эмоций субъекта [8].

В более широком смысле эмпатия означает процесс, во время которого субъект чувствует и проникает во внутренний мир другой личности с целью понять его эмоциональное состояние и душевные переживания с проекцией на себя. При этом стоит отметить, что данный процесс не просто позволяет более точно понять и проникнуться проблемами другого человека, но и, вызывая рефлексию, служит формой познания мира для субъекта.

Г. Т. Таликова рассматривала критерии для выделения форм и видов эмпатии:

1) модальность доминирующего компонента в структуре эмпатии (исследователи выделяют эмоциональную, когнитивную и поведенческую эмпатию);

2) генезис эмпатии (глобальная, эгоцентрическая и просоциальная эмпатия);

3) критерий диспозиционности эмпатии (личностная и ситуативная эмпатия);

4) критерий уровня развития эмпатии (элементарно-рефлекторные и личностные формы эмпатии) [6].

Т.П. Гаврилова указывает на еще один критерий для выделения форм эмпатии. Исследователь выделяет «сочувствие» и «сопереживание», основываясь на ориентации личности и ее ценностные характеристики, иными словами – на направленность эмпатических переживаний личности. «Сочувствие», согласно Т. П. Гавриловой, опирается в большей степени на прошлый опыт человека и связано с эгоистическим желанием о личном благополучии, в купе с личными интересами. «Сопереживание» связано с пониманием неблагополучия другого человека и связано с его потребностями и интересами [2].

Функции эмпатии стоит упомянуть отдельно. Ю.В. Сутурина отмечает, что эмпатия в межличностном общении выполняет:

1) коммуникативные, регулятивные эмотивные, социально-перцептивные функции в процессе общения;

2) эмпатия опосредует личностное развитие участников общения - снимает эмоциональный дистресс, помогает субъекту эмпатии ориентироваться в ситуации и адаптироваться к партнеру по взаимодействию;

3) способствует подтверждению и облегчению страданий объекта эмпатии;

4) служит критерием сдерживания агрессии личности, если эмпатия имеет высокий уровень развития (например, просоциальная эмпатия) [5].

Следует отметить важный для нашего исследования момент. Ю.В.Сутурина утверждает, что эмпатия способна снизить уровень агрессии только в случае достижения ее высокого развития, при этом на низших ступенях субъект не способен эмоционально откликнуться, понять эмоциональное состояние объекта и спрогнозировать его дальнейшие действия [5].

Базовым понятием при оценке развития эмпатии у студентов вуза служит эмпатический потенциал, освещенный нами в некоторых работах [3, 4]. Не вдаваясь в подробности, стоит отметить, что эмпатический потенциал есть некая предрасположенность к эмпатии, способная развиваться под воздействием внешних и внутренних факторов. Эмпатия, по мере развития личности, может приобретать все более глубокий и аналитический характер, что послужит личностному росту специалиста и поможет ему в общении не только с будущими коллегами, но и при столкновении с носителями иной культуры. В свете описанных нами проблем изменчивости мира и глобализационных процессов возникновение подобных поликультурных коммуникаций неизбежно. Рамки статьи не позволяют в полной мере раскрыть всех нюансов данного вопроса, поэтому мы намерены вернуться к нему в следующих публикациях.

Список литературы

1. Большой психологический словарь / сост. Мещеряков Б., Зинченко В. М.: Олма-пресс, 2004. 450 с.
2. Гаврилова Т.П. Эмпатия как специфический способ познания человека человеком // Теоретические и прикладные проблемы психологии познания людьми друг друга. Краснодар, 1975. 179 с.
3. Лешер О.В. Петров С.В. Педагогический конфликт как фактор развития эмпатического потенциала у студентов вуза // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2012. Т. 1. С. 159-162.
4. Петров С.В. Развитие эмпатического потенциала студентов вуза как фактор поликультурного образования // Непрерывное поликультурное образования в условиях современной России. 2012. С. 118-120.
5. Сутурина Ю.В. Эмпатия как профессионально значимое свойство личности // Вестник Бурятского государственного университета. 2008. №5. С. 108-113.
6. Таликова Г.Т. Теоретический анализ изучения характеристик эмпатии в психолого-педагогической науке // Вестник Карагандинского государственного университета. 2007. №3. С. 85-91.
7. Хайдеггер М. Разговор на проселочной дороге: Избранные статьи позднего периода творчества. М.: Высш. шк., 1991. 265 с.

8. Goldstein A. P., Michaels G. Y. Empathy development training, consequences. New Jersey London, 1985. 287 p.
9. Rogers C. Client-centered therapy. Comprehensive Textbook on Psychiatry. 5 ed. / Kaplan H.I., Sadock B.J. (eds.). Baltimore Williams & Wilkins, 1988, pp. 3–40.

УДК 378

И.А. Вахрушева

КОМПЛЕКС ПЕДАГОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРОЦЕССА РАЗВИТИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА

Проведен анализ понятий «условие», «педагогическое условие», комплекс педагогических условий, выделен комплекс педагогических условий процесса развития математической направленности студентов технического вуза.

Понятие «условие» в философии трактуется как категория, выражающая отношение предмета к окружающим его явлениям, без которых он не может существовать. Условия составляют ту среду, обстановку, в которой явление возникает, существует и развивается [8]. В понимании философов, условия – это то, от чего зависит нечто другое (обусловливаемое), существенный компонент комплекса объектов (вещей, их состояний, взаимодействий), из наличия которого с необходимостью следует существование данного явления. Чаще всего условие рассматриваются как нечто внешнее для явления, как совокупность конкретных условий данного явления, образующих среду его протекания [9].

В педагогике «педагогические условия» рассматриваются как существенный компонент педагогического процесса, интегрирующий в себе определенную совокупность мер (объективных возможностей) педагогического процесса, направленных на достижение поставленной цели [5]. Совокупность мер (объективных возможностей) – это внешние характеристики рассматриваемого педагогического объекта (содержание, формы, методы), ориентированные на определенные взаимоотношения с внутренним миром студента.

Под педагогическими условиями ряд педагогов-исследователей понимают:

- 1) совокупность объективных возможностей, обстоятельств и мероприятий, которые сопровождают образовательный процесс, определенным образом структурированы, направлены на достижение цели;
- 2) среду, в которой педагогические условия возникают, существуют и развиваются;
- 3) совокупность обстоятельств, обеспечивающих достаточный уровень сформированности компонентов профессионального самосознания;

4) результат целенаправленного отбора, конструирования и применения элементов содержания, методов, приемов, а также организационных форм обучения для достижения дидактических целей [4,6,7].

Г.Н. Сериков пишет, что развитие образовательной системы зависит от личных (природных и приобретенных) свойств в ее функционировании людей, которые играют роль своеобразного двигателя, от накопления мощности которого зависит успех. С другой стороны, возможности развития системы обуславливаются внешними условиями, состоянием среды, в сочетании с внутрисистемными отношениями, ведущая роль в которых принадлежит непосредственно субъектам внутрисистемного взаимодействия [6]. А.Я. Найн и Ф.М. Ключев к внешним условиям относят обеспечение воспитательного процесса, элементами которого являются средства, обеспечивающие внутриличностную готовность каждого из участников, к внутренним предпосылкам – потребность, целеустремленность, волю [7].

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы: в качестве комплекс мер рассматриваются не только внешние условия (содержание, методы и организационные формы обучения и воспитания), но и внутренние: вид и уровень мотивации личности обучающегося, интересы, потребности, ценностные ориентации, отношение к себе и другим, способы математической деятельности и т.д.

Таким образом, под педагогическими условиями развития математической направленности студентов технического вуза будем понимать необходимую и достаточную совокупность мер учебно-воспитательного процесса, соблюдение которых обеспечивает достижение студентами более высокого уровня развития математической направленности.

При выявлении педагогических условий мы учитывали рекомендации В.А.Беликова, Г.Г.Гранатова, Т.Е.Климовой, О.В.Лешер, полагающих, что успешность выделения условий зависит от четкости определения конечной цели, от учета того факта, что на определенных этапах педагогические условия могут выступать как результат, достигнутый в процессе их реализации; понимания того, что любой педагогический процесс может успешно функционировать только при определенном комплексе педагогических условий [1–4].

При обосновании комплексности условий мы исходим из того, что:

1) комплекс – это качественное соединение отдельных компонентов или процессов в единое целое, отличное от простой суммы своих частей;

2) исключение любого элемента из комплекса не приводит к распаду объекта, а позволяет оставшимся элементам функционировать, но с гораздо меньшей эффективностью.

В результате проведенного теоретического анализа и опыта (собственного и передового педагогического) мы предположили, что развитие математической направленности студентов технического вуза будет эффективно, если в процессе математической подготовки реализуется следующий комплекс педагогических условий. Отметим, что под эффек-

тивностью мы понимаем характеристику, отражающую отношение между достигнутой и возможной продуктивностью процесса развития математической направленности студентов.

Итак, в разработанный нами комплекс вошли три условия:

1) Процесс развития математической направленности студентов технического вуза носит этапный характер, предполагающий последовательное развитие компонентов направленности (мотивационно-потребностного, ценностного, когнитивного, рефлексивного). Наличие необходимости повышения мотивации студентов к изучению математики за счет осуществления межпредметных связей математики и специальных дисциплин, разработки комплекса математических заданий на основе межпредметных связей и интеграции естественно-научных, общепрофессиональных и специальных практических дисциплин; формирование ценностного отношения студ.ов к математическому образованию; содержание математического образования технических специальностей должно быть направлено на формирование у студ.ов математических знаний и умений, необходимых для решения технических задач. Рефлексия, как обращенность субъекта на себя, свою деятельность, является универсальным механизмом саморегуляции, развития и самореализации человека. Саморегуляция в профессионально-педагогической деятельности при формировании компонентов математической направленности проявляется в готовности и способности оценивать и анализировать конечные и промежуточные цели и результаты своих действий и деятельности студ.ов, в способности при необходимости вносить коррективы в образовательный процесс.

2) Развитие образовательной компетентности студентов. Соглашаясь с С.Н. Уласевич, определяем образовательную компетентность студента как интегративное личностное образование, представляющее собой единство теоретической и практической готовности и способности студента к деятельности, позволяющей ее осуществлять [10].

3) Готовность преподавателя к управлению процессом развития математической направленности студентов. Преподаватель математики в вузе достигает профессионального мастерства благодаря предметным знаниям, дальнейшему их пополнению, практическому опыту, знаниям психолого-педагогических теорий, рефлексировав свою деятельность и себя. Применение рефлексивного подхода в своей профессиональной деятельности способствует формированию у студентов способности к выбору целей своей деятельности, их адаптации к быстроменяющимся условиям труда, к выдерживанию конкуренции.

При выявлении комплекса педагогических условий мы учитывали сущность и структуру понятия математической направленности студента, специфических особенностей ее формирования и развития, положений личностно-ориентированного, системного, деятельностного, аксиологического, рефлексивного, компетентностного подходов.

Список литературы

1. Беликов В.А. Философия образования личности: деятельностный аспект: монография. М.: Владос, 2004. 357 с.
2. Гранатов Г.Г. Метод дополнительности в развитии понятий: монография. Магнитогорск: МаГУ, 2000. 195 с.
3. Дуранов М.Е., Жернов В.И., Лешер О.В. Педагогика воспитания и развития личности учащихся. Магнитогорск: МГПИ, 2000. 362 с.
4. Климова Т.Е. Педагогическая диагностика: методические рекомендации. Магнитогорск: МГПИ, 1996. 52 с.
5. Коджаспирова Г.М., Коджаспиров А.Ю. Словарь по педагогике. М.: ИКЦ «МарТ», 2005. 448 с.
6. Найн А.Я., Клюев Ф.М. Проблемы развития профессионального образования. Региональный аспект. Челябинск: ЧИРПО, 1998. 264 с.
7. Сериков Г.Н. Образование: аспекты системного отражения. Курган: Изд-во «Зауралье», 1997. 464 с.
8. Философский энциклопедический словарь / под ред. С.С.Аверинцев, Э.А.Араб-Оглы и др. 2-е изд. М.: Советская энциклопедия, 1989. 815 с.
9. Философский словарь / под ред. И.Г. Фролова. М.: Политиздат, 1991. 506 с.
10. <http://standart.edu.ru>

УДК 621. 74. 04

**А.С. Савинов, Л.Б. Долгополова, Е.А. Анисимова,
Р.М. Байбатыров, Е.С. Савинов**

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ТЕМПЕРАТУРНОМ ГРАДИЕНТЕ СТЕНКИ ОТЛИВКИ

В статье проведен анализ максимальных деформаций, возникающих в стенке отливки: из стали 45Л и чугуна СЧ30 при охлаждении их в различных условиях в сырой, сухой ПГФ, кокиль. Получены данные, которые могут быть использованы как справочный материал по возникающим растягивающим деформациям в стенке отливки при изготовлении ее в различных видах форм.

Напряженно-деформированное состояние литой детали в процессе ее кристаллизации и охлаждения складывается из многочисленных факторов. Для полной оценки напряженно-деформированного состояния в точке обычно используется принцип независимости действия сил, т.е. рассматривается влияние каждого фактора в отдельности.

В работах [1,2] приведена модель прогнозирования растягивающей деформации под воздействием температурного градиента плоской стенки отливки.

$$\varepsilon_{j=1} = \alpha \Delta T \left(1 - \frac{\sum_{j=1}^k E_j(t) \frac{T_{нач}}{T_j}}{\sum_{i=1}^n E_i(t) \frac{T_{нач}}{T_i} + \sum_{j=1}^k E_j(t) \frac{T_{нач}}{T_j}} \right) \leq [\varepsilon]$$

Адекватность модели была проверена экспериментально [3] и результаты работы показали удовлетворительную сходимость.

С использованием вышепоказанного выражения был проведен анализ максимальных деформаций, возникающих в стенке отливки: из стали 45Л и чугуна СЧ30 при охлаждении их в различных условиях в сырой, сухой ПГФ, кокиль (рис. 1, 2).

При расчетах использовались следующие начальные условия: влажность сырой ПГФ $\omega=4,7\%$, плотность $\rho_{сух}=1500 \text{ т/м}^3$, $\rho_{сыр}=1600 \text{ т/м}^3$, $\rho_{кокиль}=7800 \text{ т/м}^3$.

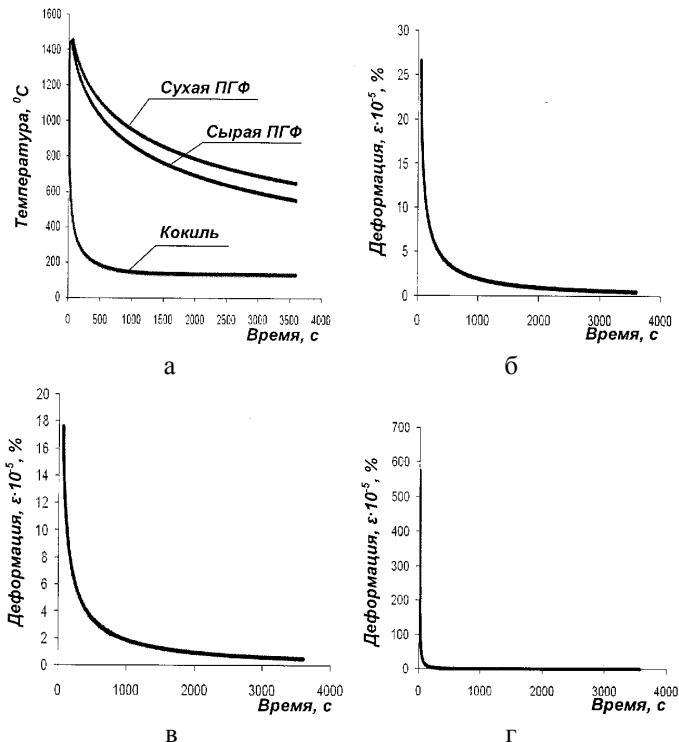


Рис. 1. Максимальная относительная температурная деформация при охлаждении стальной (сталь 45Л) пластины в различных условиях: а – температуры центра пластины; б, в, г – деформация при охлаждении: в сырой, сухой ПГФ, в кокиле соответственно

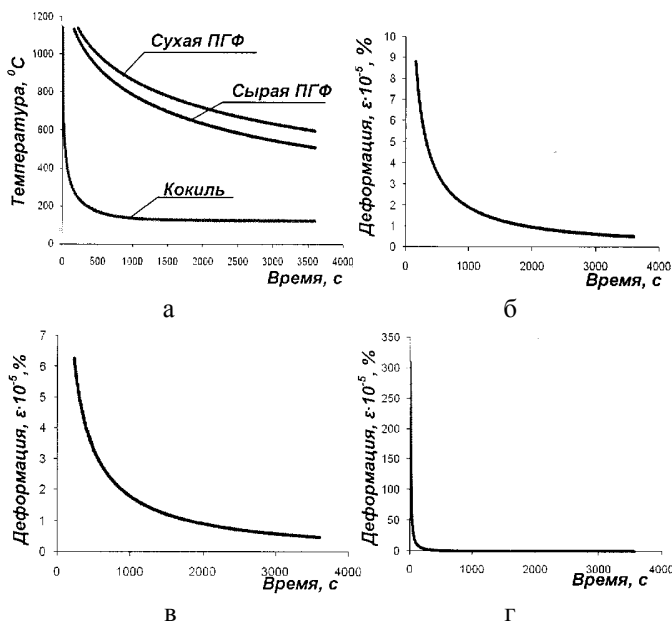


Рис. 2. Максимальная относительная температурная деформация при охлаждении чугунной пластины (СЧ30) в различных условиях: а – температуры центра пластины; б, в, г – деформация при охлаждении: в сырой, сухой ПГФ, в кокиле соответственно

Полученные данные могут быть использованы как справочный материал по возникающим растягивающим деформациям в стенке отливки при изготовлении ее в различных видах форм.

Список литературы

1. Савинов А.С., Дьяченко Д.Я., Фролушкина К.А. Расчет температурных деформаций при охлаждении пластины // Механическое оборудование металлургических заводов: междунар. сб. науч. трудов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. С. 177–180.
2. Расчет температурных деформаций в алюминиевой пластине при охлаждении ее в различных условиях / Савинов А.С., Долгополова Л.Б., Анисимова Е. А., Савинов Е.С., Ерсултанова З.С. // Литейные процессы: межрегион. сб. науч. трудов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. С.89–94.
3. Экспериментальное определение механических свойств хрупких материалов / Савинов А.С., Долгополова Л.Б., Анисимова Е. А., Савинов Е.С., Ерсултанова З.С. // Механика и актуальные проблемы металлургического машиностроения: межрегион. сб. науч. трудов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2013.

УДК 621.771

М.В. Чукин, Э.М. Голубчик, К.С. Хамутских

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФРАКТАЛЬНЫХ МНОЖЕСТВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ КАЧЕСТВА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Рассмотрена проблема возможности управления показателями качества поверхности при производстве стальной ленты в условиях ОАО «ММК» в цехе углеродистой ленты. Проанализирован возможный инструмент для оценки функционирования технологической системы и настройки ее на заданный уровень качества с использованием фракталов и фрактальных множеств.

Современные рыночные отношения представляют собой сложный комплекс взаимодействий производителей и потребителей. Своевременная реакция производителя на постоянно изменяющиеся условия данного взаимодействия является залогом его успешного и устойчивого развития.

Как известно, качество продукции – это критическая оценка потребителем степени соответствия ее свойств ожиданиям, обязательным нормам в соответствии с ее назначением. Одним из основных факторов, определяющих уровень качества, являются общественные ожидания, т.е. субъективные настроения потребителей. Удовлетворение дополнительных требований, являющихся по своей сути субъективными настроениями потребителя, способствует повышению уровня качественного восприятие продукции – повышению конкурентоспособности предприятия.

Для поддержания высокой конкурентоспособности продукции металлургической отрасли необходимо обеспечивать гарантированное выполнение требуемого уровня показателей качества. Для этого необходимо постоянное совершенствование как производства в целом, так и отдельных его составляющих, к которым можно отнести технологические операции, применяемое основное и испытательное оборудование [1].

Достаточно широко востребованным видом металлопродукции является стальная лента, производимая в условиях ОАО «ММК» в цехе углеродистой ленты, которая характеризуется широким спектром показателей качества. Одним из ключевых параметров ленты является качество ее поверхности. Во многих процессах качество поверхности определяется и нормируется через показатели шероховатости, например Ra. Одной из проблем, связанных с управлением формированием шероховатости по-

верхности, является оперативный контроль данного показателя в технологических процессах производства и переработки ленты. Кроме того, актуальным остается вопрос возможности прогнозирования конечного состояния показателя качества поверхности от степени технологического воздействия на отдельных стадиях обработки.

Как известно, именно в процессе контроля осуществляется сопоставление фактически достигнутых результатов функционирования системы с запланированными. Современные методы контроля качества продукции, позволяющие при минимальных затратах достичь высокой стабильности показателей качества, приобретают все большее значение [2].

В качестве одного из возможных инструментов оценки функционирования технологической системы и настройки ее на заданный уровень качества представляется целесообразным использование фракталов, которые получают все большее распространение в науке и технике. Применение фракталов при описании технических объектов связано с тем, что они описывают реальный мир иногда даже лучше, чем традиционная физика или математика. Можно до бесконечности приводить примеры фрактальных объектов в природе, – это и облака, и хлопья снега, и горы, и вспышка молнии, и наконец, цветная капуста. Фрактал как природный объект – это вечное непрерывное движение, новое становление и развитие.

Приведем лишь некоторые примеры «фрактальных» объектов.

Фракталы находят применение в децентрализованных компьютерных сетях и «фрактальных антеннах». Весьма интересны и перспективны для моделирования различных стохастических («случайных») процессов так называемые «броуновские фракталы».

Достаточно широко применяются фракталы при описании систем в нанотехнологиях, поскольку из-за своей иерархической самоорганизации многие наносистемы обладают нецелочисленной размерностью, то есть являются по своей геометрической, физико-химической или функциональной природе фракталами. Например, ярким примером химических фрактальных систем являются молекулы «дендримеров». Кроме того, принцип фрактальности (самоподобной, скейлинговой структуры) является отражением иерархичности строения системы и поэтому более общим и универсальным, чем стандартные подходы к описанию строения и свойств наносистем [3].

В компьютерной графике фракталы применяются для построения изображений природных объектов, таких как поверхности морей, деревья, кусты, горные ландшафты и т.д. [1]. С использованием фракталов могут строиться вполне реалистичные изображения: например, фракталы часто используются при создании облаков, береговых линий, снега, кустов, деревьев и др.).

Поэтому применять фрактальные изображения можно в самых разных сферах: создание обычных текстур и фоновых изображений, фантастических ландшафтов для компьютерных игр и книжных иллюстраций.

Создаются подобные фрактальные изображения путем математических расчетов, но базовым элементом фрактальной графики (в отличие от векторной графики) является математическая формула. Это означает, что в памяти компьютера никаких объектов не сохраняется и изображение строится только на основе уравнений.

В физике фракталы возникают при моделировании нелинейных процессов, таких как пламя, турбулентное течение жидкости, облака, сложные процессы диффузии-адсорбции и т.п. При моделировании пористых материалов (в нефтехимии) также используются фракталы. Для описания систем внутренних органов и моделирования популяций они применяются в биологии.

В последнее время растет популярность фракталов у трейдеров и используется для анализа состояния биржевых рынков. Фракталы рынка являются одним из индикаторов в торговой системе Била Вильямса. Считается, что он же впервые и ввел это название в трейдинг.

Таким образом, исследования, связанные с фракталами, меняют многое из привычных представлений об окружающем нас мире и позволяют моделировать абсолютно разные и объекты, и процессы.

Одним из определений фрактала является следующее: фрактал – это геометрическая фигура, состоящая из частей, которая может быть поделена на части, каждая из которых будет представлять уменьшенную копию целого. Другими словами, фрактал – это такой объект, для которого неважно с каким усилением его рассматривать, например в увеличительное стекло, – при всех его увеличениях структура остается одной и той же. Структуры большие по масштабу полностью повторяют структуры меньшие по масштабу.

Одним из основных свойств фракталов является самоподобие. Размерность объекта показывает по какому закону растет его внутренняя область. Аналогичным образом возрастает «объем» фрактала с ростом его размеров, но его размерность – величина не целая, а дробная. Поэтому граница фрактальной фигуры не линия: при большом увеличении становится видно, что она размыта и вся состоит из спиралей и завитков, повторяющихся в малом масштабе саму фигуру [4].

Поэтому представляется достаточно перспективным применение фрактальных множеств для анализа и описания металлургических процессов, в частности, процесса производства стальной ленты. Применительно к стальной ленте технологические операции ее изготовления представляются в виде набора фракталов с соответствующим описанием. Причем рассматривается процесс с позиции формирования одного и/или нескольких показателей качества.

Такой подход, во-первых, позволяет в процессах, имеющих многовариантный характер (например, при изготовлении стальной ленты) определить наиболее приемлемый и эффективный, с точки зрения формирования показателей качества, вариант технологии. Во-вторых, становится возможным существенно сократить затраты (в т.ч. и временные) на оценку степени влияния различных факторов на тот или иной технологический параметр, связанный с показателями качества. В-третьих, появляется инструмент, позволяющий осуществлять анализ изменчивости показателей качества на отдельных стадиях технологического процесса.

Список литературы

1. Интернет ресурс: <http://www.dissercat.com/content/tekhnologicheskoe-obespechenie-zadannoi-zakonomernosti-izmeneniya-sherokhovatosti-ploskikh-p>. (дата обращения: 12.03.2013).
2. Интернет ресурс: http://www.aup.ru/books/m93/4_4.htm (дата обращения: 12.03.2013).
3. Интернет ресурс: http://www.nanometer.ru/2008/12/21/fraktali_54999.html (дата обращения: 16.03.2013).
4. Интернет ресурс: <http://sibac.info/index.php/2009-07-01-10-21-16/6841-2013-03-15-08-38-25> (дата обращения: 16.03.2013).

УДК 621.771.237.016.3:669.14.018.29

В.М. Салганик, М.С. Гушина, В.В. Насонов

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХОЛОДНОКАТАНОЙ АВТОЛИСТОВОЙ СТАЛИ

Рассмотрены современные методы прогнозирования механических свойств холоднокатаного проката и их использование в системах управления технологией производства и качеством продукции. Разработаны регрессионные модели для прогнозирования механических свойств проката марки Н220Р. Проведена их проверка. На основе полученных результатов показаны направления применения математических моделей для управления производственными процессами.

Механические свойства проката являются важнейшими показателями качества. Существующие в металлургических процессах возмущающие воздействия, такие как колебания химического состава стали в пределах одной марки, колебание температурно-деформационных режимов при производстве проката, приводят к изменению механических свойств. Естественно, что каждый раз выдерживать абсолютное подобие состава шихты, режимов выплавки и последующих технологических операций

невозможно. Однако возможна нивелировка структуры и свойств стали за счет коррекции режимов таких технологических операций, как горячая и холодная прокатка, отжиг и дрессировка для каждого конкретного химического состава стали. Современным инструментом такой коррекции являются математические модели с установлением зависимости типа «технологические параметры – показатели качества продукции».

Используются два типа моделей: феноменологические и статистические. Феноменологические основаны на физической сущности явлений, обеспечивают качественное понимание причин, механизмов сложного поведения моделируемого процесса, но имеют сложности с обеспечением адекватности таких моделей.

Статистические модели основаны на числовых характеристиках объекта, они обладают высокой точностью, однако не дают понимания причин поведения процесса. Статистические модели можно подразделить на два основных вида:

- 1) построение уравнений регрессии;
- 2) создание искусственных нейронных сетей.

При наличии относительно небольшого количества входных параметров и линейном характере связей применяют регрессионный анализ. Поскольку для линейного моделирования хорошо разработаны процедуры оптимизации, то на протяжении многих лет оно было основным методом описания процессов. Однако применение традиционного регрессионного анализа связано с рядом недостатков:

- 1) регрессионные уравнения рассчитываются для конкретной марки стали, для конкретного сортамента;
- 2) отклонения фактических технологических параметров от базовых могут привести к значительному нарастанию погрешности;
- 3) в регрессионных уравнениях используется ограниченное число факторов;
- 4) сложные нелинейные зависимости заменяются упрощенными – линейными. Использование нелинейных зависимостей существенно усложняет моделирование и снижает его точность.

Эффективной альтернативой статистической обработки экспериментальных данных с помощью регрессионных моделей является применение искусственных нейронных сетей. Нейронные сети имитируют деятельность человеческого мозга и поэтому являются самообучающимися системами. Они нелинейные по своей природе. Поэтому позволяют эффективно строить нелинейные зависимости, более точно, чем уравнения регрессии. Кроме того, нейронные сети справляются с «проклятием размерности», которое не позволяет моделировать линейные зависимости в случае большого числа разнотипных переменных. Однако для такой модели необходим значительный массив исходных данных.

Рассмотрим прогнозирование механических свойств холоднокатаной листовой стали на конкретном примере.

В российской практике, вслед за мировой широкое применение находят стали с повышенным сопротивлением остаточным вмятинам – DR-стали (Dent-Resistant). Одним из видов такой стали являются стали, микролегированные фосфором (RS-стали) – это стали, в которых содержание этого элемента составляет до 0,12%, что делает ее более прочной. В ОАО «ММК» разработана технология производства металлопроката из стали, легированной фосфором марки H220P. В настоящее время с пуском второй очереди ЛПЦ-11 производство холоднокатаного рулонного металлопроката из данной марки осуществляется по потоку ККЦ-ЛПЦ-10-ЛПЦ-11.

Был выполнен анализ процесса производства тонколистового холоднокатаного проката повышенной прочности из стали марки H220P. В результате анализа был сделан вывод о том, что годность и стабильность технологического процесса плохая и необходимо срочное вмешательство.

На механические свойства холоднокатаной стали оказывают влияние:

- характеристики исходного материала (содержание химических элементов в стали: C, Si, Mn, S, P, Cr, Ni, Cu, Al, Mo, Ti, V, Nb);

- температурные режимы горячей прокатки (температура нагрева металла в печах стана, температура начала и конца чистой прокатки, температура смотки);

- технологические параметры холодной прокатки (суммарное обжатие и др.);

- параметры отжига (температура металла по секциям печи АНО: секция нагрева и выдержки, секция медленного охлаждения, секция быстрого охлаждения, секция перестаривания, секция окончательного охлаждения; скорость движения полосы в печах отжига и перестаривания);

- параметры дрессировки (величина обжатия и др.).

Показателями качества являются:

- предел текучести σ_T , Н/мм²;

- временное сопротивление σ_B , Н/мм²;

- относительное удлинение δ_{80} , %;

- коэффициент нормальной пластической анизотропии R_{90} ;

- показатель деформационного упрочнения n_{90} .

Были построены уравнения регрессии для прогноза механических свойств холоднокатаной листовой стали марки H220P толщиной 0,8–1,5 мм.

С доверительной вероятностью 95% полученные уравнения регрессии можно считать надежной аппроксимацией исследуемой зависимости, т.к. рассчитанные числа Фишера больше табличных.

Коэффициент множественной детерминации R^2 свидетельствует, что, например, для рассмотренных условий предел текучести металла на 83% обусловлен сочетанием температуры скотки, max температуры отжига, обжатия при дрессировке, содержания серы и фосфора.

Значение свободного члена является суммарным показателем влияния тех факторов, которые не попали в уравнение, но участвовали в анализе.

Уравнения регрессии показателей механических свойств проката толщиной 0,8–1,5 мм из стали марки Н220Р и показатели достоверности аппроксимации

Уравнения регрессии	R	R^2	F_p / F_T
$\sigma_T = 1022,22 + 8846,65S + 1792,14P - 0,066T_{CM} - 0,469T_{OTЖ} + 13,53\varepsilon_{DP}$	0,91	0,83	11 / 2,99
$\sigma_B = 447,48 + 2962,98C - 0,246T_{КП} + 0,242T_{CM} + 0,036V_{OTЖ} - 0,472T_{OTЖ} + 0,65T_{Б.ОХЛ}$	0,97	0,94	25,8/3,86
$\delta_{80} = -59,62 - 184P + 0,024T_{OTЖ} + 0,116T_{М.ОХЛ}$	0,62	0,38	4,28/3,28
$n_{90} = 0,85 - 3,3Si - 5,55Ni + 2,31Cu - 0,0006T_{CM} - 0,0003T_{Б.ОХЛ}$	0,98	0,97	59,64/3,97
$R_{90} = -7,99 - 52,28C - 206,4N + 0,008T_6 + 0,004T_{OTЖ} + 0,44\varepsilon_{DP}$	0,97	0,94	31,46/3,68
Примечание. T_6 – температура после черновой группы клетей, °С; $T_{КП}$ – температура конца прокатки, °С; T_{CM} – температура полос при скотке, °С; $T_{OTЖ}$ – температура металла в секциях нагрева и выдержки АНО, °С; $V_{OTЖ}$ – скорость движения полосы в печи отжига, м/мин; $T_{М.ОХЛ}$ – температура полосы на выходе зоны медленного охлаждения АНО, °С; $T_{Б.ОХЛ}$ – температура полосы на выходе зоны быстрого охлаждения АНО, °С; ε_{DP} – величина обжатия при дрессировке, %			

Приведенные результаты позволяют заключить, что управление производством стали посредством использования математического описания процесса возможно в следующих направлениях:

- подбор химического состава стали и режимов технологических операций для обеспечения получения стали с необходимыми свойствами;
- подбор режимов, исходя из имеющегося состава стали, последующих после выплавки технологических операций для обеспечения получения стали с необходимыми механическими свойствами;
- нивелирование обжатиями при холодной прокатке и режимами отжига воздействия химического состава и режимов горячей прокатки;

– нивелирование режимами отжига и обжатиями при дрессировке воздействия химического состава, режимов горячей и холодной прокатки.

Список литературы

1. Песин А.М., Салганик В.М., Курбан В.В. Нейросетевое моделирование процесса прокатки для повышения механических свойств горячекатаной трубной листовой стали: монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И.Носова», 2010. 129 с.
2. Румянцев М.И., Ручинская Н.А. Статистические методы для обработки и анализа числовой информации, контроля и управления качеством продукции: учеб. пособие. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Носова», 2008. 207 с.

УДК 621.771.23

В.М. Салганик, П.А. Стеканов, Д.Н. Чикишев, Д.О. Пустовойтов

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТОЛСТОЛИСТОВОГО ПРОКАТА ИЗ ТРУБНЫХ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Цель работы – уменьшение себестоимости толстолистового проката из низколегированных сталей. Разработаны математические модели расчета механических свойств трубного проката. Выполнен анализ влияния химических элементов и технологических воздействий на механические свойства проката класса прочности К56-К65. Разработан и успешно внедрен комплекс замещающих технологических воздействий.

При производстве трубных сталей класса прочности К56, К60, К65 существенное влияние на себестоимость проката оказывают процентное содержание и стоимость микролегирующих добавок. Наибольшая стоимость у FeNb, FeMo, FeV и Ni, а наименьшая – у FeCr, FeTi и Cu. Примерное содержание основных микролегирующих элементов представлено в таблице.

Примерное содержание основных микролегирующих элементов

Класс прочности	Массовая доля элементов, %						
	Ni	Mo	V	Nb	Ti	Cu	Cr
К56	0,02-0,22	0,000-0,022	0,002-0,055	0,027-0,060	0,016-0,023	0,03-0,17	0,02-0,06
К60	0,02-0,27	0,001-0,209	0,002-0,056	0,043-0,059	0,016-0,025	0,03-0,20	0,02-0,05
К65	0,16-0,25	0,159-0,222	0,013-0,029	0,077-0,095	0,012-0,020	0,12-0,20	0,16-0,22

Влияние легирующих элементов на свойства стали обусловлено измельчением зерна, упрочнением феррита вследствие образования твердых растворов внедрения и замещения, упрочнением в результате выделения частиц второй фазы различной степени дисперсности и изменением прокаливаемости [1]. Для анализа и оптимизации химического состава выбраны микролегируемые трубные стали класса прочности K56-K65 толщиной 15,0–25,0 мм. Снижение содержания микролегирующих элементов в этих сталях возможно за счет выбора оптимальных технологических параметров термомеханической прокатки, обеспечивающих улучшение свойств по механизму зернограничного, дисперсионного и дислокационного упрочнения.

Разработаны математические модели, описывающие взаимосвязь содержания микролегирующих элементов в стали и технологических способов воздействия на механические свойства трубных сталей [2]:

- модель расчета необходимой температуры нагрева сляба, обеспечивающей полное растворение карбонитридов ниобия;

- модель прогнозирования роста зерна аустенита при нагреве сляба под прокатку во время междеформационных пауз и межстадийного охлаждения;

- модель прогнозирования размера зерна аустенита после прохождения статической, динамической или метадинамической рекристаллизации на черновой стадии прокатки;

- модель прогнозирования размера зерна феррита после $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения в зависимости от размера зерна аустенита, суммарного обжата на чистовой стадии прокатки и скорости охлаждения;

- формулы для определения температур фазовых превращений Ag_1 и Ag_3 с учетом деформации, температурного градиента по толщине раската и полного химического состава стали (14 элементов);

- модель расчета приращения прочности стали по механизму дисперсионного твердения, учитывающая взаимосвязь содержания в стали ванадия и скорости охлаждения;

- нейросетевая модель расчета механических свойств (предел текучести, временное сопротивление разрыву, относительное удлинение) трубного проката, учитывающая влияние 27 параметров процесса (полный химический состав стали плюс технологические параметры) [3].

На основе нейросетевого моделирования выполнен анализ влияния химических элементов (ниобия, ванадия, титана, хрома, никеля, меди, молибдена, бора) и технологических воздействий на механические свойства трубной стали K60 в интервале толщин 15–25 мм. Установлено, что снижение температуры нагрева сляба в печи с 1220 до 1200°C способствует менее полному растворению карбонитридов ниобия и, как следствие, снижению прочностных характеристик стали – предела текучести

на 20 МПа и временного сопротивления разрыву на 30 МПа, при этом относительное удлинение увеличивается на 3–4% [4].

Увеличение толщины сляба с 250 до 300 мм приводит к возрастанию предела текучести приблизительно на 10 МПа и временного сопротивления разрыву приблизительно на 25 МПа, при этом относительное удлинение возрастает на 1,5–2%. Влияние толщины сляба обусловлено увеличением числа обжатий (с 5–7 до 8–10) на черновой стадии прокатки, что способствует более полному прохождению рекристаллизации и, следовательно, дополнительному измельчению зерна аустенита [5]. Более мелкое зерно аустенита способствует формированию более мелкого зерна феррита после $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения и улучшению механических свойств [6].

Снижение температуры конца прокатки на 50⁰С увеличивает предел текучести стали приблизительно на 20 МПа, при этом временное сопротивление разрыву практически не меняется, а относительное удлинение снижается на 1,0–1,5%. Увеличение скорости охлаждения на каждые 4⁰С/с увеличивает предел текучести стали на 15–20 МПа и временное сопротивление разрыву на 14–18 МПа, при этом относительное удлинение снижается на 1–1,5%.

Снижение температуры конца ускоренного охлаждения на 50⁰С увеличивает предел текучести стали на 20 МПа и временное сопротивление разрыву на 15 МПа, при этом относительное удлинение снижается на 1%. С увеличением конечной толщины листа с 15 до 25 мм предел текучести и временное сопротивление разрыву снижаются в среднем на 20–30 МПа.

На основе анализа результатов математического моделирования предложены два способа уменьшения себестоимости толстолистового горячекатаного проката из микролегированных сталей:

I) за счет снижения содержания таких дорогостоящих легирующих элементов, как ванадий, никель и медь, на основе разработки и использования замещающих технологических воздействий при производстве трубного проката класса прочности К60;

II) путем взаимозамены дорогостоящих легирующих элементов, в частности, применением бора для компенсации снижения марганца, хрома и ниобия при производстве трубного проката класса прочности К56.

Первый способ рассмотрен применительно к технологии производства листового проката класса прочности К60 толщиной 15,7–19,0 мм. Предложено пять вариантов изменения химического состава стали:

- 1) снижение ванадия в 2 раза – с 0,045–0,060 до 0,020–0,035%;
- 2) снижение никеля в 2 раза – с 0,2–0,3 до 0,1–0,2%;
- 3) снижение меди в 2 раза – с 0,1–0,2 до 0,0–0,1%;
- 4) снижение ванадия в 4 раза – с 0,045–0,060 до 0,0–0,015%;
- 5) снижение ванадия (с 0,045–0,060 до 0,0–0,015%) и меди (с 0,1–0,2 до 0,0–0,08%).

Для компенсации снижения микролегирующих элементов разработан комплекс замещающих технологических воздействий. Приняты к внедрению изменения в действующую технологию производства толстолистового проката класса прочности К60 толщиной 15,7–19,0 мм со сниженным в 2 раза содержанием ванадия.

Второй способ уменьшения себестоимости рассмотрен применительно к толстолистовому прокату класса прочности К56-1 и К56-2 (1-го и 2-го уровня исполнения) толщиной 14,0–21,0 мм с использованием микролегирующего бором. Применение бора в качестве микролегирующего элемента позволяет компенсировать снижение марганца, хрома и ниобия при сохранении уровня механических свойств согласно требованиям НД. Впервые выполнили выплавку, прокатку и испытание стали, микролегирующей бором, в объеме более 500 т.

По разработанным технологическим режимам успешно проведены промышленные испытания. Общий объем опытных партий составил более 10 тыс. т.

Экономия от снижения себестоимости стали за счет снижения содержания ванадия составляет 590 руб./т, при микролегировании бором – 500 руб./т. При этом суммарный экономический эффект от внедрения результатов НИР в производство (отгрузка по текущим заказам толстолистового проката класса прочности К60 в объеме более 7,5 тыс. т) составил более 4,5 млн руб.

По результатам исследований подготовлены 2 заявки на патент: «Способ производства толстолистовой трубной стали» и «Способ производства толстолистовой трубной стали, микролегирующей бором».

Список литературы

1. Еланский Г.Н. Сталь и Периодическая система элементов Д.И. Менделеева. Элементы шестой-восьмой групп. Легирующие элементы // Технология металлов. 2011. №12. С. 2–14.
2. Чикишев Д.Н. Совершенствование технологии производства деталей крупногабаритных тел вращения на основе математического моделирования процессов деформирования толстых стальных листов: дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 2007. 132 с.
3. Нейросетевое моделирование процесса получения широкополосной горячекатаной стали с заданными механическими свойствами / Салганик В.М., Песин А.М., Денисов С.В., Чикишев Д.Н., Сычев О.Н. // Производство проката. 2008. №8. С. 26–27.
4. Совершенствование процесса толстолистовой прокатки микролегируемых сталей различных классов прочности на основе дилатометрических исследований / Салганик В.М., Денисов С.В., Набатчиков Д.Г., Дегтярев В.Н., Чикишев Д.Н. // Производство проката. 2011. №5. С. 5–8.

5. Effective Rough Rolling of Low-Alloy Steel / Salganik V.M., Pesin A.M., Chikishev D.N., Pustovoitov D.O., Denisov S.V. // Steel in Translation. 2008. Vol.38. No.9. P. 767–769.
6. Моделирование микроструктуры низколегированной конструкционной стали при черновой прокатке на стане 5000 ОАО «ММК» / Салганик В.М., Песин А.М., Денисов С.В., Чикишев Д.Н., Пустовойтов Д.О., Перехожих А.А. // Моделирование и развитие процессов ОМД. 2011. №1. С. 4–11.

УДК 621.23.09:669.586

М.И. Румянцев, И.Г. Шубин, О.И. Шубина, Н.И. Шубина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА КАЧЕСТВО ХОЛОДНОКАТАНОГО ОЦИНКОВАННОГО ПРОКАТА

Статистическими методами исследовано влияние контрольных характеристик процесса горячего цинкования на качество холоднокатаного оцинкованного проката при его производстве. Полученные результаты позволяют определить направление совершенствования технологического процесса и разработки мероприятий по снижению несоответствующей продукции.

Корректность протекания заданного технологического процесса определяется степенью соответствия результатов его исполнения установленным требованиям. Технологический процесс обеспечивает качество продукции, поэтому управление им на основе анализа и регулирования его точности и стабильности определяет эффективный путь управления качеством продукции. Одним из наиболее результативных способов анализа причин возникновения несоответствия качества выпускаемой продукции является применение статистических методов.

Контроль точности и стабильности технологического процесса определяется:

- получением информации, необходимой для организации статистического регулирования и контроля качества продукции;
- оценкой фактического соответствия продукции и стабильности технологического процесса;
- определением соответствия точности характеристик оборудования и параметров его настройки нормам, установленным в НТД;
- предупреждением изготовления продукции ненадлежащего качества.

Анализ результатов контроля точности технологических процессов позволит выявить факторы, приводящие к его нарушению; установить значимость влияния каждого из факторов; рассчитать границы регулирования параметров технологического процесса.

Технологическая схема производства включает последовательное выполнение следующих производственных операций:

- установка рулонов на размотыватель;
- обрезка на гильотинных ножницах;
- сварка концов полосы рулонов;
- очистка полосы;
- Нанесение цинкового покрытия. Особое внимание уделяется требованию к химическому составу расплава ванны цинкования: Al – 0,16–0,30%, Pb – не более 0,01%, Sb – не более 0,005%, Fe – не более 0,04%;
- формирование цинкового покрытия;
- охлаждение оцинкованной полосы;
- правка с растяжением;
- обрезки кромок;
- промасливание;
- сматывание ГЦ-проката.

Исследование проводилось на базе данных производства оцинкованного холоднокатаного проката, полученных в течение одного календарного года. В результате обработки данных статистическими методами построены диаграммы Исикавы и Парето (рис. 1, 2; см. таблицу).

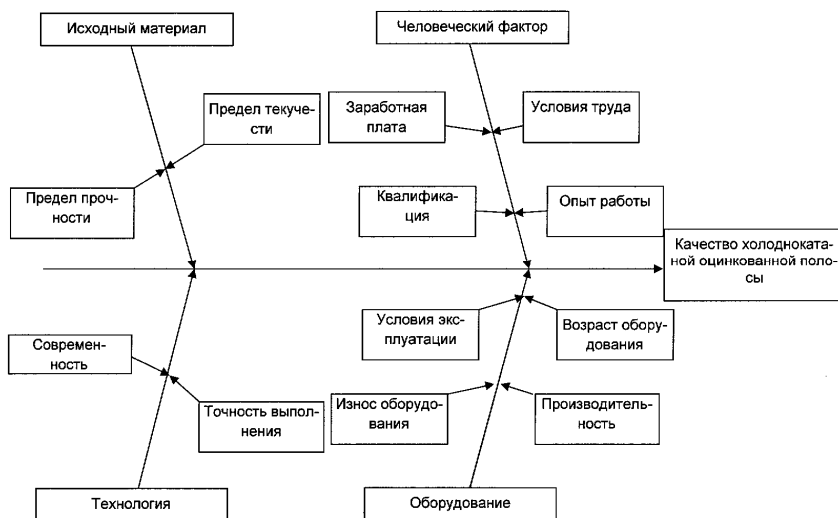


Рис. 1. Диаграмма Исикавы

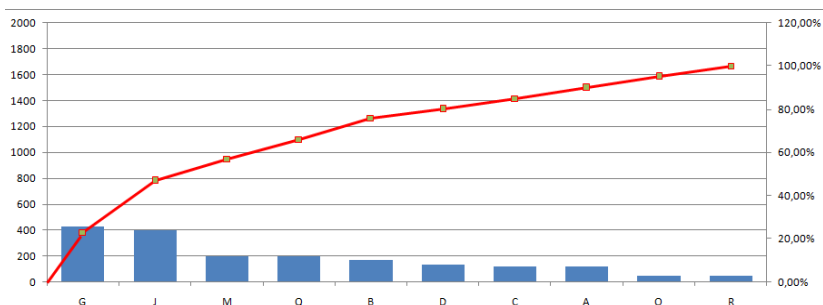


Рис. 2. Диаграмма Парето

Данные по количеству несоответствующей продукции

Параметр	Причины возникновения несоответствий									
	Наплыв цинка	Непрооцинкованность	Шероховатость покрытия	Отслоение цинкового покрытия	Складка	Большой вес	Смятый рулон	Пятна пассивации	Неплоскостность	Отпечатки
Обозначение столбцов на диаграмме	G	J	M	Q	B	D	C	A	O	R
Количество несоответствий	431	401,33	200,18	198,63	170,67	132,4	118,67	117,4	49,56	44,1
Накопленные проценты, %	23,0	47,0	57,0	66,0	76,0	80,0	85,0	90,0	95,0	100,0

Таким образом, применение статистических методов анализа позволило установить, что основными причинами брака являются: непрооцинкованность и наплыв цинка, что объясняется плохой адгезией. Вместе с тем, значительный вклад в снижение качества оцинкованного листа вносят несоответствия требованиям шероховатости и отслоения цинкового покрытия. Причины их возникновения напрямую зависят от настройки оборудования и отлаженности технологии. Управление используемыми агрегатами и, соответственно, управление качеством продукции возможно с применением моделей изменчивости показателей качества оцинкованного проката и их адаптацией для каждого конкретного процесса производства. Проведенные исследования определили область последующих работ по повышению качества оцинкованного проката.

* К вопросу создания модели изменчивости показателей качества оцинкованного проката в зависимости от режимов цинкования / Румянцев М.И., Шубин И.Г., Корнилов В.Л. и др. // Производство проката. 2011. №3. С. 22–25.

**А.В. Найденова, И.В. Логинова, С.А. Левандовский,
А.Б. Моллер, Р.В. Новицкий**

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПРУТКОВОГО ПРОКАТА НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

Рассмотрены методы оценки весомости показателей качества арматурного проката, производимого на стане 370. На основании концепции «Шесть сигм» рассчитана весомость показателей качества арматурного проката, выявлен проблемный показатель. Предложены мероприятия по повышению эффективности производства пруткового проката.

В зависимости от назначения металлопродукции, то есть набора его полезных свойств, выбирают способ оценки качества [1]. Поэтому важно адекватно выбирать необходимый метод оценки с достаточной для заданных условий точностью.

Чтобы объективно оценить уровень качества продукции в целом, определяют комплексный показатель качества на основании единичных показателей. При этом значимость каждого свойства определяют коэффициентом весомости.

Существует несколько методов расчета параметров весомости: стоимостных регрессионных зависимостей, эквивалентных соотношений, экспертный, предельных и номинальных значений и метод, основанный на концепции «Шесть сигм».

Метод стоимостных регрессионных зависимостей основан на построении приближенных зависимостей между затратами на создание и эксплуатацию продукции и исходными показателями качества [3]. На основании этого метода делается вывод, что то свойство изделия, которое требует для его получения больших затрат, должно иметь большую весомость.

Если комплексная оценка уровня качества проводится с помощью средневзвешенного геометрического показателя и известна стоимостная зависимость в виде

$$\lg \frac{S_i}{S_i^{\beta_{\text{аз}}}} = \sum_{i=1}^n a_i \lg \frac{P_i}{P_i^{\beta_{\text{аз}}}}, \quad (1)$$

то параметры весомости m_i равны соответствующим параметрам регрессионной зависимости, где S_i и $S_i^{\beta_{\text{аз}}}$ – стоимость (оптовая цена) оцениваемой и базовой продукции; a_i ; P_i и $P_i^{\beta_{\text{аз}}}$ – показатели качества оцениваемой и базовой продукции; a_i – параметры аппроксимации, определяемые методом наименьших квадратов; n – количество принятых для оценки показателей качества продукции.

Этот метод применим только для продукции, которая производилась длительное время и пользовалась устойчивым спросом.

Метод эквивалентных соотношений используют в тех случаях, когда удается обосновать, какому относительному изменению количества продукции $(\xi + \Delta\xi)/\xi$ эквивалентно относительное изменение соответствующего показателя качества $(P_i + \Delta P_i)/P_i$, с точки зрения общего эффекта от использования продукции по назначению [3]. Недостатком метода является его сложность. Параметр весомости определяется следующим образом:

$$m_i = \frac{\lg\left[1 + \left(\frac{\Delta\xi}{\xi_i}\right)\right]}{\lg\left[1 + \left(\frac{\Delta P_i}{P_i}\right)\right]}, \quad \text{где } (i=1,2,\dots,n). \quad (2)$$

При оценке качества металлопродукции, в частности арматуры, невозможно заменить качество изделий их количеством. Поэтому в данном случае метод использовать нецелесообразно.

Экспертный метод основан на использовании мнений специалистов-экспертов. Эксперты определяют параметры весомости в баллах. Актуальность экспертного метода обосновывается возможностью и потребностью его использования в любой сфере, так как он технологически относительно прост по сравнению с аналитическими методами [2]. Однако результаты, полученные экспертами, не обладают высокой надежностью и объективностью.

Метод предельных и номинальных значений основан на использовании известных предельных значений показателей качества продукции, определяющих требования к годной продукции или принадлежность ее к данной категории качества [2]. Основу метода предельных и номинальных значений составляет посылка, что важность свойства характеризуется степенью приближения номинального (среднего) значения показателя качества к его предельному значению.

Параметр весомости для средневзвешенного арифметического показателя:

$$m_{i(Q)} = \frac{1/(P_i^H - P_i^{PP})}{\sum_{i=1}^n \left[1/(P_i^H - P_i^{PP}) \right]}, \quad (3)$$

где P_i^H – номинальное значение показателя P_i ;

P_i^{PP} – предельное значение показателя P_i .

Метод предельных и номинальных значений ориентирован на определение весомости показателей качества с точки зрения выполнения базовых требований по нормативной документации, то есть сравнения фактических значений показателя (P_i^H) с предельным значением по установленному регламенту (P_i^{PP}). При этом в соответствии с концепцией TQM («Всеобщее Управление Качеством») и стандартами ИСО серии 9000 деятельность предприятия должна заключаться в обеспечении качества в целом и постоянном его улучшении [3].

Достоинство этого метода заключается в возможности учитывать мнения очень большого числа проектировщиков, не прибегая к непосредственному контакту с ними. Недостатком метода является сравнительно большая трудоемкость расчетов.

Также для определения параметров весомости можно использовать методологию «шесть сигм», согласно которой в установленный интервал допусков по нормативной документации должно укладываться шесть стандартных отклонений выборки [4]. Таким образом, чем ближе значение показателя к номинальному значению, установленному по методологии «шесть сигм», тем меньше внимания оно требует к себе с точки зрения обеспечения качества и соответственно меньше весомость данного показателя [5].

По данному методу весомость определяется следующим образом:

$$m_i = \frac{P_i^{6\sigma} / P_i}{\sum_i^n P_i^{6\sigma} / P_i}, \quad (4)$$

где P_i – среднее значение показателя в выборке; $P_i^{6\sigma}$ – номинальное значение показателя по методологии «Шести сигм»; n – количество оцениваемых показателей.

Метод на основе концепции «Шести сигм» направлен на бездефектное производство и стабильное обеспечение качества продукции, поэтому для определения коэффициентов весомости показателей качества арматуры, производимой на стане 370, будем использовать именно этот метод.

Для определения коэффициентов весомости показателей качества арматурного проката, произведенного в условиях сортового цеха ОАО «ММК» по СТО АСЧМ 7-93, были проанализированы данные о показателях качества за 2012 год (см. таблицу).

Показатель качества	Предел текучести σ_t , Н/мм ²	Временное сопротивление разрыву σ_b , Н/мм ²	Относительное удлинение δ_s , %	Внешний диаметр d_1 , мм	Масса стержня 1 п. м, кг/м	Незаказная длина, т
Номинальное значение по НД	Не менее 500	Не менее 600	Не менее 14	18,00	2,00	0,0
Среднее по выборке	592,96	677,19	17,79	18,00	2,01	200
Стандартное отклонение	39,63	36,13	2,50	0,03	0,06	22,04
Номинал по бс	618,90	708,39	21,50	18,09	2,18	266,12
Весомость m_i	0,15	0,15	0,18	0,15	0,16	0,21

На основании методики «Шесть сигм» рассчитаны коэффициенты весомости показателей качества, представленные в таблице.

Так, для предела текучести весомость равна

$$m_i = \frac{618,90 / 592,96}{618,90 / 592,96 + 708,39 / 677,19 + 21,50 / 17,79 + 18,09 / 18,00 + 2,18 / 2,01 + 266,12 / 200} = \frac{1,04}{1,04 + 1,05 + 1,18 + 1,01 + 1,18 + 1,33} - 0,15.$$

Из расчетов видно, что наибольшее значение имеет незаказная длина, что иллюстрирует необходимость разработки мероприятия по снижению незаказной длины на данном стане. В настоящее время сортовой группой кафедры ОМД МГТУ заключен хозяйственный договор с ОАО «ММК» по снижению дефекта – незаказная длина на стане 370.

Результат применения выбранного метода в условиях ММК и предложенные технические мероприятия, повышающие эффективность производства прутковой продукции, характеризуются ожидаемым экономическим эффектом не менее 800 тыс. руб.

Список литературы

1. Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П. О квалиметрии. М.: Изд-во стандартов, 1973. 172 с.
2. Жадан В.Т., Маневич В.А. Совершенствование технологии прокатки на основе комплексных критериев качества. М.: Металлургия, 1989. 94 с.
3. Всеобщий менеджмент качества / Колесников А.А., Козин И.Ф., Кожевников С.А., Соболев В.С., Степанов С.А., Щербаков А.Ю.; под общ. ред. Степанова С.А. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2001. 200 с.
4. Алексеев В. Как лучше использовать показатели в методологии «Шесть сигм» // Методы менеджмента качества. 2004. № 1.
5. Ишимова И.В., Левандовский С.А. Совершенствование технологии и оценка производства арматурного проката на основе комплексного показателя // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й научно-технической конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 239–242.

УДК 621.78:669.15

А.Н. Завалицин, Г.Я. Камалова, А.Д. Лошкарева, Е.В. Кожевникова

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ ТРУБНОЙ СТАЛИ

В работе приведены данные по изменению структуры низколегированных сталей в зависимости от температуры закалки и отпуска. Закалка приводит к образованию игольчатых структур, размер которых определяется исходным зерном аустенита. Карбонитридные частицы растворяются в интервале температур 1000–1050°C. Отпуск приводит к различной интенсивности снижения твердости в различных температурных интервалах.

Введение

При производстве листового проката из высокопрочных низколегированных трубных сталей в ряде случаев необходимо применять термическую обработку – закалку с отпуском. Данная технологическая операция способствует значительному измельчению зеренной структуры в сталях, обеспечивая их высокую конструктивную прочность, пластичность и вязкость, а также снижая чувствительность к обратимой хрупкости. В связи с этим исследования влияния улучшения на структуру низколегированных трубных сталей повышенных классов прочности и разработка новых режимов термической обработки весьма актуальна и имеют большое практическое значение [1,2].

В данной работе проводились исследования влияния температур закалки и отпуска на структуру и свойства низколегированной трубной стали.

Методика проведения исследований

Исследовали низколегированные стали, содержащие 0,08 (А) и 0,06 (Б)% С, 1,6% Мн, 0,23% Si с различными добавками ванадия, ниобия и титана.

Закалку проводили в интервале температур 1100–800°C. Закаленные при 900 °С образцы отпускали в интервале температур 300–700°C с выдержкой 1 ч 15 мин. Нагрев образцов проводили в лабораторных печах, с высокой точностью регулирования температуры.

Твердость определяли на приборе Роквелла в условиях лаборатории ОАО «ММК». Структуры стали изучали на оптическом микроскопе Nikon Epiphot с цифровым анализатором изображений. Травление металлографических шлифов проводили в пикриновой кислоте для выявления исходного аустенитного зерна и в 3%-ном растворе HNO_3 .

Результаты исследования

Структура сталей после закалки состоит из малоуглеродистого мартенсита, бейнита, остаточного аустенита и карбидонитридов (отмечено стрелками) (рис.1). Частицы (Nb,Ti)(C,N) при травлении окрашиваются в голубоватый цвет, что также подтверждается различными литературными данными. Растворение карбидов начинается в температурном интервале 1000–1050°C, после закалки от температур 1100–1050°C карбидная фаза не обнаруживается, следовательно, можно считать, что интервал температур растворения карбонитридов составляет 1000–1050°C. Твердость низколегированных трубных закаленных сталей меняется не монотонно в зависимости от температуры закалки (рис. 2). Повышение твердости при нагреве в двух температурных интервалах и снижение в интервале 900–1000°C определяется соотношением количества и легированием мартенсита и остаточного аустенита, связанное с растворения карбонитридов при нагреве.

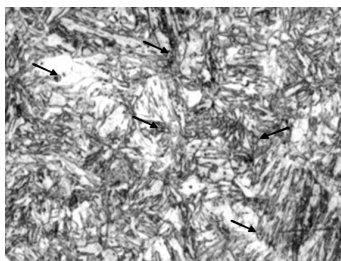


Рис. 1. Структура закаленной низколегированной трубной стали А, 1000°С, (×1000)

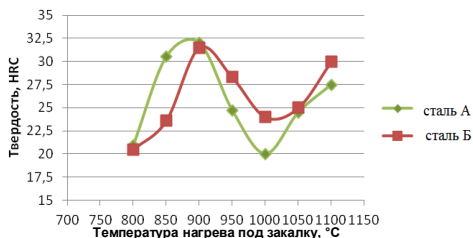
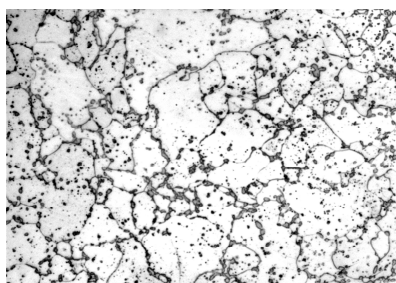


Рис. 2. Зависимость твердости закаленных образцов низколегированных трубных сталей А и Б от температуры нагрева под закалку

После отпуска в интервале температур 300–400°С структура сталей состоит из участков отпущенного мартенсита, речного бейнита, с повышением температуры отпуска до 500–600°С структура более равномерна, появляется небольшая доля гранулярного бейнита и феррита. Карбиды, существовавшие после закалки, каких-либо изменений, видимых в оптический микроскоп, не претерпевают. При дальнейшем повышении температуры начинается их интенсивное выделение и после отпуска при 700°С структура состоит из равновесных зерен феррита и многочисленных карбидов по границам и внутри зерна (рис. 3). Выделение углерода из мартенсита, распад остаточного аустенита приводит к различной интенсивности снижения твердости на различных температурных участках, и общее снижение твердости с достаточной степенью адекватности можно аппроксимировать линейной зависимостью (рис. 4).



а



б

(×400)

Рис. 3. Структура низколегированной трубной стали после закалки от 900°С и отпуска при различных температурах:
а – 600°С; б – 700°С

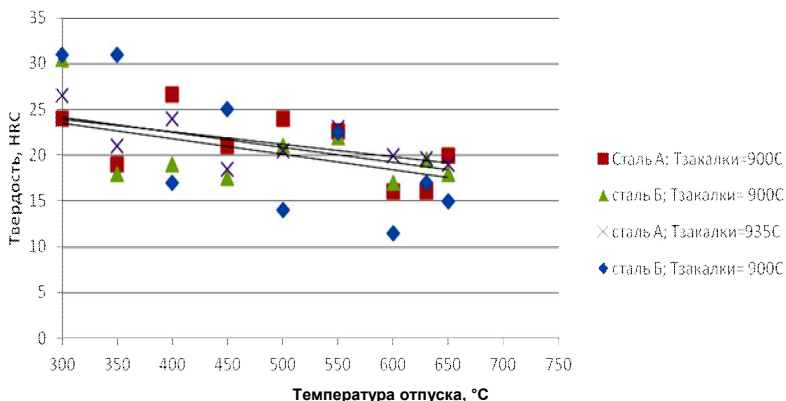


Рис. 4. Зависимость твердости низколегированной трубной стали от температуры отпуска

Выводы

1. Оптимальной температурой нагрева под закалку низколегированной трубной стали является температура 900°C, соответствующая повышенной твердости, что свидетельствует о достаточном переходе в раствор легирующих элементов.
2. Растворение карбонитридов наиболее интенсивно протекает в интервале температур 1000–1050°C.
3. Структура низколегированной трубной стали в интервале температур отпуска 300–700°C изменяется от мартенсита, речного бейнита до феррита и карбидов. Наиболее интенсивное выделение карбидной фазы происходит при температуре выше 600°C. Изменение температуры нагрева стали от 300 до 700°C приводит к снижению твердости в результате отпуска закалочных структур и выделения карбидов из твердого раствора.

Список литературы

1. Изменение структуры и механических свойств толстолистовой ферритно-бейнитной высокопрочной трубной стали под воздействием термической обработки / Матросов М.Ю., Таланов О.П., Лясоцкий И.В., Кичкина А.А. // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2011. №5. С. 19–24.
2. Разработка режимов термической обработки для получения мелкозернистой структуры / Базанов Ю.Б., Комисаров А.А., Смирнова Ю.В., Сазонова А.Ю. // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2009. №5. С. 24–31.

Д.А. Чевычелов, А.Б. Моллер, С.Я. Унру

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ НА СТАНЕ «170» ОАО «ММК»

Рассмотрена возможность использования бандажированных комбинированных валков в чистовой группе стана «170» ОАО «ММК».

Производство и потребление катанки, как и других видов проката, напрямую связано с тенденциями развития мирового рынка. Главной целью развития металлургической промышленности России является обеспечение требуемых по номенклатуре, качеству и объемам поставок конкурентоспособной продукции на мировой рынок и рынок стран СНГ. Ведущие позиции в мире по производству катанки занимают Япония, США, страны Европейского сообщества (ЕС). В России и странах СНГ имеются современные проволочные и мелкосортно-проволочные станы, производящие катанку, соответствующую мировому уровню качества (станы «150» металлургических комбинатов Белорецкого, Макеевского, «Криворожсталь» и ОАО «Северсталь», станы 320/150 Белорусского и Молдавского металлургических заводов, а также стан «170» Магнитогорского металлургического комбината). Для обеспечения стабильного сбыта катанки при жесткой конкуренции, вызванной вступлением России во Всемирную торговую организацию (ВТО), перед предприятиями встал вопрос применения эффективных энерго- и ресурсосберегающих технологических систем, позволяющих снизить себестоимость катанки и обеспечить при этом ее высокое качество.

Сортовой прокат является одним из распространенных видов прокатной продукции. Только на ММК в 2012 году производство сортового проката достигло 1,739 млн т, что на 16% больше, чем в 2011 году и более чем на 60% превышает показатели 2010 года. Сортамент сортового проката характеризуется большим числом видов и размеров входящих в него профилей. Освоенный сортамент сортового проката насчитывает более 1500 профилей и свыше 3900 профилеразмеров с массой одного метра длины от 0,22 до 755 кг (круг 350 мм), производимых из сталей более чем 1000 марок.

Катанка – это производимый в бунтах горячекатаный круглый прокат с диаметром сечения 5–10 мм. Катанку используют как заготовку при волочении проволоки разного назначения (канатной, телеграфной и т.д.), а также при изготовлении сеток, винтов, болтов, гвоздей и других изделий.

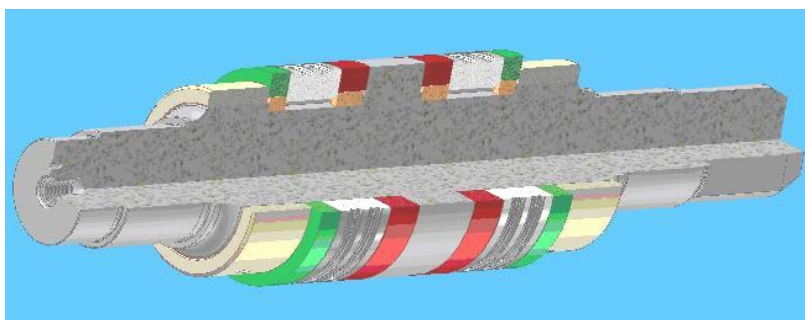
В настоящее время мировое производство катанки превышает 50 млн т в год, что составляет $\approx 10\%$ общего выпуска проката. Доля стана «170» в мировом производстве данного вида проката составляет $\approx 1\%$

(500 тыс. тонн). Для решения поставленных вопросов производители стремятся удовлетворять в наибольшей степени требования к механическим свойствам и структуре металла, точности размеров, массе мотков и другим показателям качества. Благодаря инновационным решениям и разработкам скорость прокатки катанки за последние 20 лет возросла с 35 до 120 м/с, масса мотков достигла 2–2,5 т, точность размеров катанки увеличилась до $\pm 0,10 - 0,15$ мм, вместо $\pm 0,5$. Улучшились структура, механические свойства и равномерность их распределения по длине мотка. Расширился марочный сортамент готовой продукции. Но внедрение каждой новой технологии, нового решения требует немалых экономических вложений. Поэтому актуализируется вопрос возврата этих самых денежных средств в наиболее короткие сроки.

Летом 2006 года в сортовом цехе ОАО «ММК» был введен в строй непрерывный мелкосортовый-проволочный стан «170», пуск которого завершил коренную реконструкцию сортопрокатного производства комбината.

В настоящий момент потребителями продукции стана являются: «ММК-метиз», «Северсталь-метиз», «Красный октябрь» (Волгоград), «Казметиз» (Казахстан), «Метмаш» (Нижний Новгород), «Оливьер» (Беларусь). Прокат, производимый на стане, используется в следующих отраслях: автомобилестроение, вагоностроение, кабельная промышленность, машиностроение, метизы, добывающая отрасль, судостроение и др.

В первую очередь нами был затронут вопрос повышения стабильности размеров и качества готовой продукции. Было выяснено, что для достижения этой цели в чистовой группе клетей стана «170» применяются более износостойкие бандажированные валки карбид-вольфрама. Они представляют собой комбинацию сердечника, выполненного, как правило, из конструкционной стали, и твердосплавного бандажа.



Следует заметить, что твердость бандажа увеличивается с увеличением доли карбид-вольфрама. Опыт использования таких валков показал, что съем при перешлифовках уменьшился в 2–2,5 раза по сравнению с

чугунными, а стойкость увеличилась в 7–10 раз. Несмотря на то, что стоимость твердосплавных валков в 10 раз больше, чем чугунных, за счет снижения расхода валков на практике был получен экономический эффект 35 млн руб. С другой стороны, бандажированные валки требуют определенных условий эксплуатации, что ведет к определенным трудностям и, как следствие, также сказывается на их стоимости.

Во вторых, нами рассматривалась возможность внедрения твердосплавных валков в предчистовую и промежуточную группы стана. Но по полученным данным было выявлено, что занятость 12 и 13 клетей (предчистовая группа) по месяцу составляет ≈ 10 –15 тыс т при производстве 50–60 тыс т. Очевидно, что использование вышеуказанных валков на данном участке стана будет экономически невыгодно. Схожая ситуация складывается и в промежуточной группе клетей. Так как скорости прокатки в ней относительно небольшие, стойкость калибра твердосплавного валка будет сопоставима со стойкостью чугунного, а переплавлять лишь за количество переточек нецелесообразно.

Высокая стоимость бандажированных валков обусловлена их хорошей износостойкостью. Но из-за малых заказов на некоторый сортament валки уходят на переточку с невыработанными калибрами, что ведет к большим экономическим потерям. Поэтому нашей целью был поиск вариантов, которые позволили бы повысить эффективность использования валков и, следовательно, сократить денежные затраты и снизить себестоимость катанки. Решением является использование комбинированных валков. Это такие валки, на бочке которых вырезаны калибры для производства различных профилей одновременно.



Следует подчеркнуть, что по полученным данным передовым профилем в последние два года на стане «170» является катанка диаметром 5,5 и 6,5 мм. Суммарное производство данного вида продукции достигло 401486 т за 2011 г. и 422236 т за 2012 г., что составляет 78 и 64% соответственно от общего количества годовой продукции. Внедрение бандажированных комбинированных валков с калибрами, предназначенными для прокатки обоих вышеуказанных профилей, позволит значительно сократить расходы на поупку, переточку, содержание парка бандажированных валков, а также позволит увеличить производительность стана за счет сокращения времени перевалок при переходе с одного профиля на другой.

Подводя итоги, нужно сказать, что для успешной реализации данного проекта необходимо ставить перед вспомогательными службами задачу по рациональной загрузке стана, а также рассмотреть вопрос механического перехода клетей с калибра на калибр, что даст возможность полностью использовать все преимущества данных валков и, таким образом, позволит ММК сохранить долгосрочную конкурентоспособность как на внутреннем, так и на мировом рынках металлопроката.

УДК 621.746.5.047:621.771.016.2

А.Г. Соловьёв, М.В. Шитов

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСА МНЛЗ – СТАН ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ 2000

На основе комплексного подхода рассмотрена работа МНЛЗ и ШСГП 2000. Выявлены значимые параметры, за счёт управления которых возможно обеспечение энергоэффективной работы данного комплекса.

Значительная доля ресурсов, потребляемая металлургией, приходится на прокатные цеха. При этом огромные возможности по осуществлению энергоэффективной работы заложены в комплексе машина непрерывной разливки (МНЛЗ) – широкополосный стан горячей прокатки (ШСГП). Их реализация происходит через транзитную прокатку и горячий посад [1,2].

Одно из препятствий в организации горячего посада – это согласованная работа МНЛЗ и ШСГП. Роль первой, согласно нашему мнению, заключается в формировании монтажных партий для стана, а именно в отливке слябов определённого типоразмера в требуемой последовательности. При этом возможны два крайних варианта. В первом варианте на ШСГП прокатывается всё, что разливает МНЛЗ, где время от разливки до прокатки сляба (время ожидания) стремится к минимуму. Наименьшее время ожидания получается при транзитной прокатке, а там где оно достигает несколько часов – горячий (ГП) и тёплый посадки (ТП). Температурные интервалы и время ожидания для последних разнятся на каждом предприятии в зависимости от их уровня технического развития, оснащённости и автоматизации, и однозначно определить их нельзя. Так, например, для ШСГП 2000 НЛМК до 12 ч – ГП, от 12 до 36 ч – ТП, свыше 36 ч – холодный посад (ХП), для 2000 ММК – до 7 ч – ГП, свыше 7 ч – холодный. В этом случае формирование ширины может происходить как на МНЛЗ, так и на ШСГП. Во втором варианте время ожидания находится в диапазоне ХП, и формирование ширины сляба происходит преимущественно на МНЛЗ. Так, на ШСГП 2000 ММК прокатка производится по двум вариантам: ХП и ГП.

Тогда под согласованной работой МНЛЗ и ШСГП можно понимать отливку и подачу слябов с максимально возможной температурой посада с целью снижения расхода топлива в нагревательной печи или отливку слябов определённого типоразмера – снижение обрезки и электроэнергии в черновой группе ШСГП [3].

Разбив данный комплекс на три части: МНЛЗ, печи и черновая группа ШСГП, можно выделить существенные параметры каждой из них, влияющие на энергоэффективность комплекса.

Производительность МНЛЗ зависит от количества плавов в серии и длительности смены кристаллизатора. Производительность МНЛЗ при определённом количестве плавов в серии начинает «насыщаться». Если за точку насыщения взять последующее увеличение производительности меньше чем на 1%, то при длительности разлива 60 мин насыщение происходит при количестве плавов в серии 15, а при 40 мин – 13. В ряде работ содержатся сообщения, что оптимальным количеством плавов с точки зрения производительности для МНЛЗ является 10–12 и что производительность резко снижается после 14–16, т.е. прирост практически равен нулю. Причина данного явления заключается в нарушении графика подачи ковшей на МНЛЗ, что влечёт увеличение длительности разлива плавки [4]. С другой стороны, для снижения расхода энергии, ресурсов и обрезки это же количество в 12–14 плавов является оптимальным [4,5]. Следовательно, для МНЛЗ данное количество плавов (10–14) является рационально-предпочтительным и с точки зрения производительности, и с точки зрения затрат на энергоресурсы.

Для печей ШСГП при фиксированной толщине сляба и без учёта марки стали и конечной толщины прокатываемого рулона энергоресурсы и производительность зависят от температуры посада. При этом производительность может быть зафиксирована на одном уровне, в этом случае путём уменьшения расхода газа по зонам печи снижается расход топлива примерно от 2 до 6 кг у.т./т на каждые 100°С в зависимости от уровня технического оснащения данной печи. Применение горячего посада также снижает окисление на 2–3 кг/т [6].

В черновой группе ШСГП происходит формирование ширины сляба, если она не произошла на МНЛЗ или других редуцирующих агрегатах, либо снятие естественного уширения вертикальными валками. Если формирование ширины происходит в черновой группе, то оно ограничено техническими характеристиками оборудования и так называемой «экономической целесообразностью обрезки». На отечественных станах эффективное изменение ширины достигает 100–150 мм, при этом чем больше эффективное изменение ширины, тем больше обрезка и расход электроэнергии. Это связано в первую очередь с тем, что осуществляется большое суммарное обжатие вертикальными валками.

Сведём все значимые перечисленные нами параметры в таблицу.

Возможное изменение параметров в комплексе МНЛЗ – ШСГП

№ п/п	Варьируемые параметры	Элементы комплекса МНЛЗ – ШСГП		
		МНЛЗ	Нагревательные печи	Черновая группа
1	Топливо, кг у.т./т	2,5 – 3	2 – 6	–
2	Огнеупоры, кг/т	0,08 – 0,1	–	–
3	Электрэнергия, МДж/т	–	–	1 – 3
4	Обрезь, кг/т	5 – 25	–	5 – 15
5	Окалина, кг/т	–	2 – 3	–

Примечания: 1) изменение расхода топлива для печей считается на каждые 100°C;
2) «–» означает, что данного параметра либо нет в рассматриваемом элементе, либо его изменением можно пренебречь.

Из таблицы видно, что существенное влияние на изменение ресурсов и энергии будут иметь топливо и обрезь, влияние остальных незначительно и их можно не учитывать. Итак, рассмотрим влияние данных параметров на энергоэффективность в комплексе МНЛЗ – ШСГП 2000 ОАО «ММК».

МНЛЗ отливают слябы для двух станов 2500 и 2000, для последнего количество типоразмеров за год составляет 15, из которых 3 можно исключить в связи с их незначительной долей от всей массы слябов за год. За анализируемый период времени (год) было выявлено, что производительность МНЛЗ превышает производительность двух станов, а доля горячего посада для стана 2000 не очень высокая. Горячий посад можно осуществить только для стана 2000 из-за близости к МНЛЗ (проектирование МНЛЗ и ШСГП 2000 осуществлялось в одно время), поэтому все дальнейшие расчеты проводились только для него.

Одним из препятствий для осуществления горячего посада является согласованная работа данного комплекса, в которую, прежде всего, входит время ожидания сляба (время от разливки до посадки в печь), составляющее для обеспечения горячего посада не более 7 ч, и исходный типоразмер сляба, чтобы была возможность его редуцирования в черновой группе. Если проводить согласование отливки слябов для каждой монтажной партии, то МНЛЗ не справляется с поставленной задачей, в связи с частой перестройкой и не сможет отлить весь объём слябов. В этом случае согласованность работы не выполняется потому, что производится отливка не всех слябов. Её выполнение возможно при избыточной мощности МНЛЗ, т.е. увеличение их числа, но это позволить себе может не каждое предприятие, при этом встаёт вопрос об их эффективной загрузке.

При согласовании работы комплекса для трёх и более монтажных партий проблем с выполнением программы разливки слябов у МНЛЗ не возникает, но доля горячего посада при этом значительно снижается из-за чередования слябов с разной температурой. О согласованной работе говорить также не приходится.

Более предпочтительный вариант получается при отливке слябов для двух монтажных партий. В этом случае из четырех работающих МНЛЗ лишь только две не справляются с заданной для них задачей. Отливка слябов разного типоразмера для каждой из двух МНЛЗ, если рассматривать их в паре, дифференцирована. И одна из этой пары, которая не успевает, обеспечивает отливку восьми типоразмеров слябов. Для улучшения их работы было предложено повысить эффективное изменение ширины черновой группы ШСГП 2000, за счёт интенсификации режима обжатию, до 175–200 мм. В этом случае происходит перераспределение долей отливаемых типоразмеров, и данная пара МНЛЗ полностью справляется с производственной задачей. Для другой пары можно решать обратную задачу путём приближения ширины слябов к ширинам готовых полос при условии резерва времени [3]. В этом случае возникает согласованная работа всего комплекса, где прежде всего выполняется ГП слябов, с частичным выполнением отливки нужного типоразмера слябов для одной пары МНЛЗ.

Отливка слябов для двух монтажных партий создаёт благоприятные условия для повышения горячего посада. Связано это с тем, что длительность цикла прокатки более 60% монтажных партий не превышает 3,5 ч и лишь только у 10% монтажных превышает 5 ч. И доля горячего посада может составить за весь год 60–80%.

Обрезь, возникающая на МНЛЗ, при отливке слябов для двух монтажных партий не превышает среднего годового значения за 2010 г. Но повышается обрезь у ШСГП. Доля слябов, подвергаемых эффективному обжатию более 175 мм, составляет не более 4%, а слябов от 150 до 175 – 5%. Затраты на обрезь, которые появляются у ШСГП, полностью окупаются снижением затрат на топливо в нагревательных печах.

На основании проведённой работы были разработаны технологии прокатки слябов в черновой группе и формирование монтажной партии на МНЛЗ, позволяющие повысить энергоэффективность комплекса МНЛЗ – ШСГП 2000.

Список литературы

1. Средства технического обеспечения энергосберегающей технологии производства листового проката / Ю.В. Коновалов, А.Л. Остапенко, Э.Е. Бейгельзимер и др.// Черметинформация. Сер. «Прокатное производство». 1988. Вып. 1. С. 34.
2. Снижение энергозатрат при прокатке полос / А.Л. Остапенко, Ю.В. Коновалов, А.Е. Руднев, В.В. Кисель. Киев: Техника, 1983. 223 с.
3. Соловьев А.Г., Шитов М.В. Пример повышения энергоэффективности технологической системы МНЛЗ – ШСГП // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: межрегион. сб. науч. трудов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. С. 178–185.
4. Евтеев Д.П., Колыбалов И.Н. Непрерывная разливка стали. М.: Металлургия, 1984. 200 с.

5. Процессы непрерывной разливки / А.Н. Смирнов, В.Л. Пилющенко, А.А. Минаев и др. Донецк: ДонНТУ, 2002. 536 с.
6. Остапенко А.Л. Производство проката. Т. 3. Кн. 1. Информационное и методическое обеспечение проектирования технологии и оборудования листовых и полосовых станов горячей прокатки: учеб.-справочное пособие. М.: Тепло-техник, 2011. 344 с.

УДК 621.77

Е.М. Медведева, Э.М. Голубчик, Ю.Ю. Ефимова, А.И. Мешкова

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРНЫХ СВАРНЫХ ШВОВ МЕТАЛЛОПРОКАТА, ПОЛУЧЕННЫХ В УСЛОВИЯХ НОВОГО КОМПЛЕКСА ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ОАО «ММК»

Рассмотрена операция лазерной сварки при производстве проката в новом комплексе холодной прокатки ОАО «ММК». Изучено влияние параметров сварки на формирование структуры и качественных характеристик сварного шва.

В 2011 в ОАО «ММК» была введена в эксплуатацию первая очередь комплекса холодной прокатки – ЛПЦ-11. Основное назначение комплекса – производство высококачественного холоднокатаного (до 1 300 000 т/год) и оцинкованного (до 700 000 т/год) проката по самым передовым и современным технологиям*.

Одной из особенностей данного производственного комплекса является тот факт, что для проведения операции укрупнения рулонов в головных частях агрегатов (НТА-стан-тандем, линии агрегата непрерывного отжига и горячего цинкования (АНО/ГЦ)) установлены сварочные машины лазерного типа CSLH19 фирмы Miebach. Основными варьируемыми параметрами, определяющими технологию сварки и влияющими на качество сварного соединения, являются:

- скорость сварочной тележки, регулируемая от 1 до 12 м/мин;
- мощность лазера, max 3,5 кВт;
- фокусное расстояние рабочей головки лазера к поверхности полосы;
- скорость сварки от 2,5 до 12 м/мин;
- предварительный нагрев зоны шва (предварительная термообработка) мощностью до 25 кВт;

* Освоение технологий производства проката в новом комплексе холодной прокатки / Дубровский Б.А., Шиляев П. В., Ласьков С. А., Горбунов А.В., Лукьянов С.А., Голубчик Э.М. // Сталь. 2012. №2. С.63–65.

- окончательный нагрев зоны шва (окончательная термообработка) мощностью до 25 кВт;
- зазор между передним и задним прижимными столами.

Для оперативного контроля качества сварного шва применяется метод выдавливания лунки по Эриксену. После проведения испытания результаты должны оцениваться по следующим критериям: если порыв произошёл перпендикулярно шву – шов годен (надлежащего качества); если порыв произошёл по линии сварного шва – шов выполнен некачественно, не годен (рис. 1).

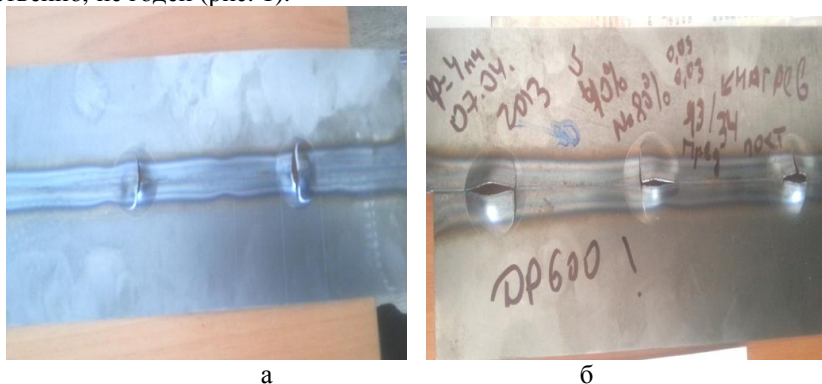


Рис. 1. Образцы испытания на выдавливание лунки по Эриксену марки стали DP600: а – шов годен; б – шов не годен

Так как раньше в отечественной металлургической практике не было опыта оценки качества лазерного шва и исследований по влиянию режимов сварки на формирование структуры шва, то возникла необходимость в проведении комплекса исследований.

Учёными кафедры ММТ МГТУ им. Носова совместно с техническими специалистами ОАО «ММК» были проведены металлографические исследования на образцах лазерных сварных соединений марки стали 08пс толщиной 0,8 мм. Данная сталь была выбрана как одна из основных в сортаменте производственной линии АНО/ГЦ. В рамках данных исследований измерялась микротвёрдость в поперечном сечении нетравленных шлифов в направлении от оси сварного шва к основному металлу в трех зонах по толщине листа: со стороны широкой части шва (ряд 1), со стороны узкой части шва (ряд 3), а также по центральной линии сечения (ряд 2), как показано на рис. 2. Замеры выполнялись до тех пор, пока не достигали твёрдости основного (свариваемого) металла.

Результаты данных исследований представлены на рис. 3. Было выявлено, что распределение микротвёрдости в сварном соединении в центре и на периферии поперечного сечения (т.е. по толщине полосы) практически идентично как в кромочной, так и в центральной части полосы.

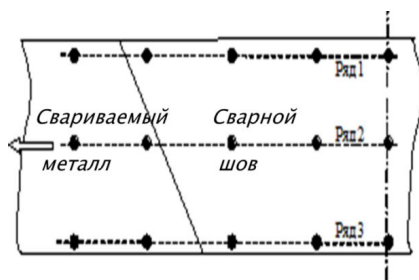


Рис. 2. Схема расположений точек измерения микротвёрдости

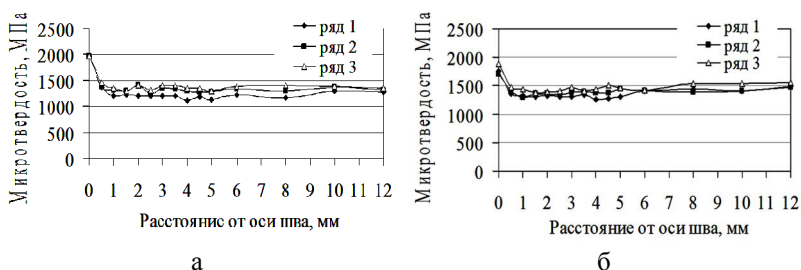


Рис. 3. Распределение микротвёрдости в кромочной части листа (а) и в центральной части листа (б)

Также при анализе результатов металлографических исследований был определён характер и протяжённость всех зон сварного соединения и околшовной зоны в образцах кромочной и центральной части полосы. Результаты исследований приведены на рис. 4, 5. При этом зоны кристаллизации шва, перегрева и нормализации были сформированы непосредственно при осуществлении сварки, а зона основного металла – в процессе последующего рекристаллизационного отжига в печи АНО.

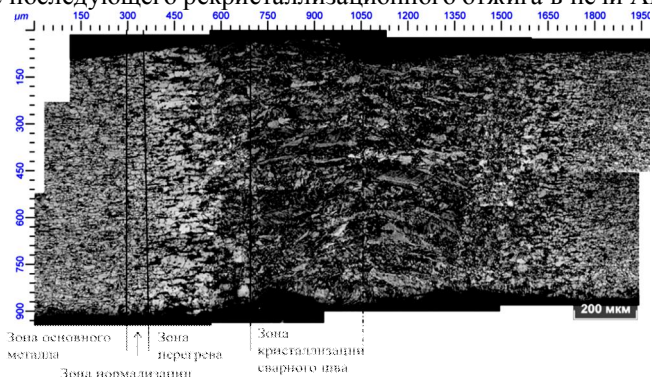


Рис. 4. Микроструктурные зоны в кромочной части листа

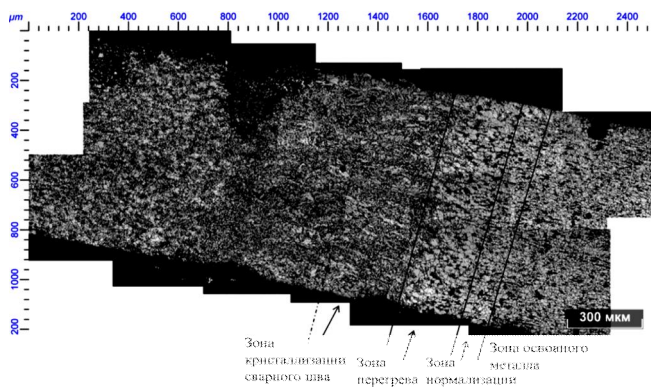


Рис. 5. Микроструктурные зоны в центральной части листа

При измерении протяжённости всех зон сварного шва и сравнении значений в кромочной части листа и в центральной было выявлено незначительное различие между ними. Полученные данные представлены на рис. 6.

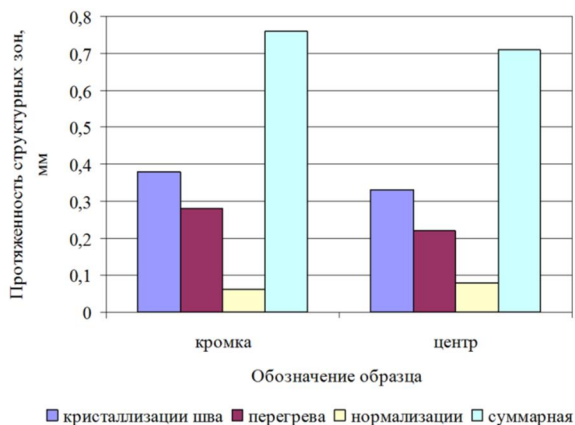


Рис. 6. Протяжённость структурных зон сварного шва и околошовной зоны

Таким образом, результаты проведённых исследований позволили установить основные механизмы формирования структуры сварного шва и определить влияющие на его качество факторы. При этом можно говорить о стабильности распределения свойств лазерного сварного соединения как по его сечению, так и по всей ширине стыкуемых полос.

В.А. Харитонов, М.Ю. Усанов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ В УГЛЕРОДИСТОЙ ПРОВОЛОКЕ ПРИ РАДИАЛЬНО-СДВИГОВОЙ ПРОТЯЖКЕ

Проведено моделирование радиально-сдвиговой протяжки в программном комплексе Deform 3d. Показаны результаты комбинирования радиально-сдвиговой протяжки и волочения в монолитной проволоке.

Для реализации способа производства проволоки радиально-сдвиговой деформацией на кафедре машиностроительных и металлургических технологий МГТУ им Г.И. Носова был предложен способ, получивший название радиально-сдвиговая протяжка (РСПр), которая осуществляется приложением к проволоке (катанке), без ее скручивания, переднего тянущего усилия. Установка радиально-сдвиговой протяжки представляет собой кассету с 3-мя неприводными роликами, расположенными под углом 120° друг к другу, с углами подачи $\beta > 16^\circ$ [1].

Для изучения процесса радиально-сдвиговой протяжки было осуществлено моделирование в программном комплексе Deform 3d [2, 3] и показано формирование спиралевидной структуры по сечению проволоки [4].

Например, если нанести риску на поверхность проволоки и проволочить ее, то риска на поверхности останется параллельно оси проволоки (рис. 1, а), угол скручивания γ будет равен 90 град. Если проволоку подвергнуть радиально-сдвиговой деформации, то риска приобретет вид спирали и угол γ уже не будет равен 90 град (рис. 1, б).

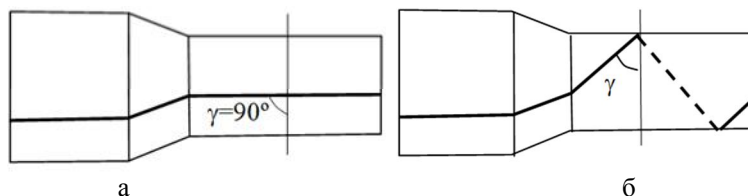


Рис. 1. Траектории течения металла:

а – при волочении; б – при радиально-сдвиговой протяжке

В процессе моделирования было установлено, что угол скручивания γ зависит от вытяжки и от обжатия. С увеличением вытяжки и обжатия угол скручивания уменьшается, т.е. подобно виткам пружины плотность навивки становится больше.

Особый интерес представляет комбинирование радиально-сдвиговой протяжки и волочения в монолитной проволоке. Для этого было проведено моделирование по маршруту 16,00–14,25–12,85–11,73–10,80–10,00 мм, с

изменением направления вращения роликов радиально-сдвиговой протяжки (см. таблицу).

Маршруты комбинирования радиально-сдвиговой протяжки и волочения в монолитной волоке

1 маршрут	левое	левое	левое	волочение	волочение
2 маршрут	левое	правое	левое	волочение	волочение
3 маршрут	левое	правое	правое	волочение	волочение
4 маршрут	левое	волочение	правое	волочение	волочение
Левое – вращение РСПр влево. Правое – вращение РСПр вправо. Волочение – волочение в монолитной волоке.					

Результаты моделирования представлены на рис. 2.

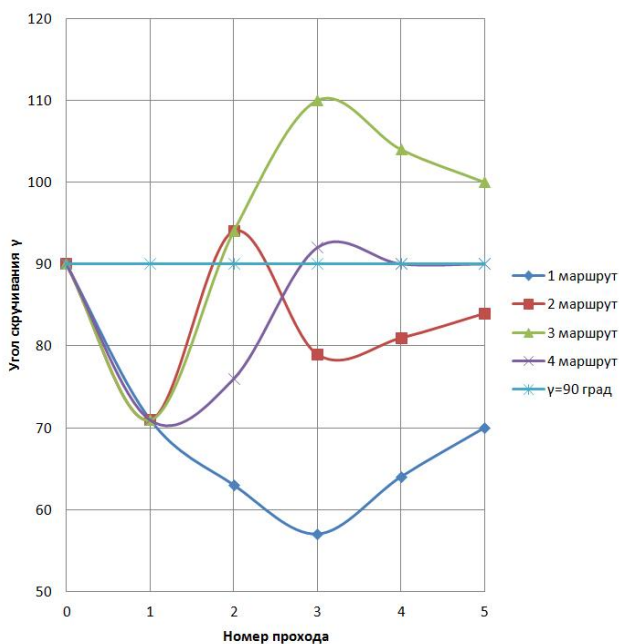


Рис. 2. Комбинирование радиально-сдвиговой протяжки и волочения в монолитной волоке

Из рис. 2 видно, что в первом проходе угол скручивания составляет 71 град. При дальнейшем волочении угол скручивания увеличивается до 76 град (т.е. спираль выпрямляется). При РСПр в том же направлении угол скручивания уменьшится до 63 град, а при РСПр в противоположном направлении – увеличится до 94 град, т.е. закрутится в обратном направлении.

При волочении по маршруту №4 сначала образуется спираль, а при дальнейшем волочении и реверсивной РСПр спираль меняет направление свивки и после волочения в монолитных волокнах в двух последних проходах винтовая линия превращается в прямую, как до первого прохода. Однако за счет немонотонного характера деформирования происходит измельчение структуры.

Таким образом, наиболее эффективно сочетание реверсивной радиально-сдвиговой протяжки в первых проходах с последующим волочением в монолитных волокнах.

Список литературы

1. Совершенствование режимов деформации и инструмента при волочении круглой проволоки / Харитонов В.А., Манякин А.Ю., Чукин М.В., Дремин Ю.А., Тикеев М.А. Усанов М.Ю. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. 174 с.
2. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Моделирование процесса радиально-сдвиговой протяжки // Материалы 68-й межрегион. науч.-техн. конференции. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. Т.1. С. 46–48.
3. Усанов М.Ю. Моделирование в программном комплексе Deform 3d процессов волочения и радиально-сдвиговой протяжки проволоки // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: междунар. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Салганика. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. С. 80–85.
4. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Модель формирования наноструктуры в высокоуглеродистой проволоке в процессе радиально-сдвиговой протяжки // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов: межвуз. сб. науч. тр. / под общ. ред. В.М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. Тверь: Твер. гос. ун-т, 2012. Вып. 4. С. 309–313.

УДК 621.778

**А.Ю. Столяров, Н.В. Токарева, А.Б. Сычков,
О.Б. Макарушина, С.О. Малашкин**

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПАТЕНТИРОВАНИИ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ КАТАНКИ И ПРОВОЛОКИ

Рассмотрены существующие методы компьютерного моделирования процессов термической обработки металлов, в частности процесса патентирования высокоуглеродистой проволоки, развитые в основном за рубежом. Проведено математическое моделирование патентирования высокоуглеродистой катанки и проволоки в программной среде DEFORM 3D HT, результаты которого имеют хорошую сходимость с опытно-промышленным физическим моделированием. В

конечном итоге установлены оптимальные температурно-временные режимы патентирования металла с формированием структуры сорбита, наиболее применимой для волочения проволоки кордового назначения.

Традиционно в нашей стране нагрев проволоки для патентирования осуществляется в электрических или газовых печах, а также с помощью прямого пропускания тока. В качестве закалочной среды используется расплав свинца или соли (селитра – азотнокислый натрий и калий, их смеси) [1]. В работе [2] проведён патентный обзор имеющихся способов нагрева и контролируемого охлаждения проволоки после аустенитизации, используемых за рубежом. В результате анализа мы пришли к выводу, что применяемые в отечественном производстве патентировочные среды малоэффективны, а используемые режимы патентирования в свинце катанки и проволоки малых и больших диаметров не рациональны. Поэтому требуется проведение математического и физического моделирования теплового и структурного процессов, протекающих при патентировании металла.

Компьютерное моделирование процессов термической обработки металлов находит в последнее время широкое применение за рубежом. Так, например, в работе [3] с помощью программного комплекса «ABAQUS» было установлено поле температур при охлаждении проволоки диаметром 1,80 мм из стали с содержанием углерода 0,72% до температуры 510°C, предварительно нагретой до температуры 910°C. Установлено оптимальное время выдержки проволоки в свинцовой ванне – 10 с, а расстояние между пластинами цементита – 29 нм. В работе [4] было установлено влияние режимов термической обработки на свойства деталей, используемых в аэрокосмической промышленности. Исследования проведены в «Lulea University of Technology University» совместно с компанией «Volvo Aero» (Швеция). В работе отмечено, что на стадии проектирования и разработки технологических процессов компьютерное моделирование позволяет значительно сократить затраты на производство и снизить риски, связанные с выпуском дефектной продукции. В работах [5,6] американскими исследователями «Department of Mechanical and industrial engineering University of Iowa» с помощью программного пакета «DANTE» исследовалось влияние режимов термической обработки и цементации стали на остаточные напряжения и твёрдость. В работе [7] южно-корейскими учёными с помощью конечно-элементного моделирования разработаны термические, термодинамические и кинетические модели поведения стали при горячей прокатке полосы, а в работе [8] с помощью программного комплекса «ABAQUS» исследовано влияние кинетики мартенситного превращения на свойства цилиндрических образцов из низкоуглеродистой легированной хромом стали.

В нашем случае, при анализе структурообразования при патентировании высокоуглеродистой проволоки и катанки из стали марки 80 моде-

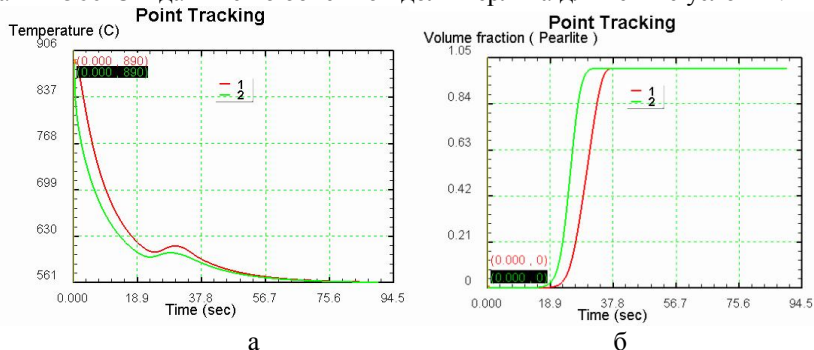
лирование проводилось в программной среде DEFORM 3D HT на базе ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И.Носова».

Адекватность модели реальному процессу обеспечивалась:

- фактическими свойствами материала (термокинетическая диаграмма) [9];
- расчетными значениями коэффициента конвективного теплообмена α [10];
- скрытой теплотой фазового перехода [11].

Было проведено исследование кинетики распада и структурообразования переохлажденного аустенита для температуры аустенитизации ($t_a = 840, 890$ и 940°C) и температуры изотермической выдержки в свинцовой ванне ($t_c = 480, 510$ и 560°C) на трех профилеразмерах – катанка диаметром 5,5 и 16,0 мм и проволока диаметром 3,0 мм. В результате компьютерного моделирования получены температурные кривые по сечению образцов и зависимости объемной доли аустенита и перлита от времени процесса.

На рисунке для примера соответственно представлены зависимости температуры поверхностных и центральных слоёв катанки диаметром 16 мм от времени при температуре печи 890°C и температуре свинцовой ванны 560°C и данные по объемной доле перлита для тех же условий.



Результаты моделирования термической обработки катанки диаметром 16 мм при температуре печи 890°C и температуре свинцовой ванны 560°C для центральных (1) и поверхностных (2) слоёв в программной среде DEFORM 3D HT: а – зависимость температуры от времени; б – зависимость объемной доли перлита от времени

В результате анализа температурных кривых, полученных при компьютерном моделировании, установлено, что предпочтительным режимом термической обработки катанки диаметром 16,0 мм является температура аустенитизации 890°C , температура превращения 560°C , поскольку для этого сочетания на кривых охлаждения не наблюдается резких

изменений температур по сечению. На основании полученных данных для центральных и поверхностных слоёв катанки (проволоки) было определено необходимое время распада переохлаждённого аустенита и зависимость разницы температуры от времени.

Результаты физического моделирования (анализ полученных структур) представлены в таблице, где приняты следующие условные обозначения: С – сорбит, П – перлит, Б – бейнит, Т – троостит, ПП – пластинчатый перлит, СП – сорбитообразный перлит. Анализ данных таблицы показывает, что для всех диаметров катанки и проволоки при патентировании наиболее эффективным является диапазон разницы температур (степень переохлаждения) на уровне 310–330°С, при котором для проволоки диаметром 3,0 мм формируется структура чистого сорбита, иногда с редкими прожилками феррита (остатки сетки), для катанки диаметром 5,5 мм – сорбитообразный перлит, для проката в бунтах диаметром 16,0 мм – сорбитообразный перлит с участками пластинчатого перлита.

Таким образом, результаты компьютерного моделирования подтверждаются данными физического моделирования.

Результаты полупромышленного эксперимента

тп/ тсв	d,мм	940°С	890°С	840°С
560°С	3.0	С, редкие уч. ПП	С, Ф (в виде прожилок)	Ф, зернистый перлит
	5.5	СП (перистая структура ближе к трооститной)	СП	СП, Ф (в виде прожилок), редко
	16.0	П	С,П примерно поровну	Грубый П
510°С	3.0	С	С (участки ПП редко)	СП, уч. ПП (редкие)
	5.5	СП, уч. ПП, уч. ферритной сетки (редко)	С	СП, уч. ПП (редкие)
	16.0	ПП, участки грубого перлита	С, участки ПП	СП,ПП,прожилки феррита
480°С	3.0	Б	Ф,П	Перистая (игольчатая) структура П и верхнего Б
	5.5	СП (перистая структура ближе к трооститной)	С, ПП	Перистая (игольчатая) структура П и верхнего Б
	16.0	Т, уч. П	С,П	СП, уч. ПП, карбиды внутри зерна

Список литературы

1. Потёмкин К.Д. Термическая обработка и волочение высокопрочной проволоки. М.: Металлургия, 1963. 117 с.
2. Столяров А.Ю., Токарева Н.В. Формирование однородной перлитной структуры патентированной заготовки при производстве высокопрочного шинного корда // Метиз. 2011. №1. С.18–24.

3. Aghazadeh J., Saadatmand M. The optimization of interlamellar spacing in a nanopearlitic lead-patented hypoeutectoid steel wire // Journal of materials engineering and performance. Vol. 20(8). November, 2011, p.1467.
4. Alberg Henric. Material modeling for simulation of heat treatment / Henric Alberg // Luleå University of Technology University. 2003, 07, p. 22.
5. Hardin R.A., Beckerman C. Simulation of heat treatment distortion // Technical and operating conference. Paper № 3.3. Steel founders society of America. Chicago. IL. 2005.
6. Ferguson B.L., Li Z., Freborg A.M. Modeling heat treatment of steel parts // Computational materials science. 2005, 34, pp.274–281.
7. Heung Nam Han, Jae Kon Lee, Hong Joon Kim. A model for determination temperature and phase transformation behavior of steels on run-out table in hot strip mill // Journal of materials processing technology. 2002, 128, pp.216-225.
8. Lee Seok-Jae, Lee Young-Kook. Finite element simulation of quench distortion in a low-alloy steel incorporating transformation kinetic. Acta Mat, 2008, 56, pp.1482–1490.
9. Использование комплекса GLEEBLE 3500 для определения критических точек микрولةгированной стали 80P [Электронный ресурс] / Д.М. Чукин, А.С. Ишимов, М.С. Жеребцов, А.И. Мешкова//Международный научно-исследовательский журнал. Режим доступа: <http://research-journal.org/featured/technical/ispolzovanie-kompleksa-gleeble-3500-dlya-opredeleniya-kriticheskix-tochek-mikrole-girovannoj-stali-80p/>.
10. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. 753 с.
11. Высокопрочная арматурная сталь / А.А. Кугушин, И.Г. Узлов, В.В.Калмыков и др. М.: Металлургия, 1986. 272 с.

УДК 669.1.017:620.18:620.17:669.2-419

А.С. Ишимов, М.С. Жеребцов, Д.М. Чукин

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ С БОЛЬШИМИ СТЕПЕНЯМИ НАКОПЛЕННОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ КОМПЛЕКСЕ GLEEBLE 3500

Изучена зависимость сопротивления деформации от времени, количества циклов деформации, направления деформации низкоуглеродистой стали. Проведено моделирование процессов с большой накопленной степенью деформации.

На современном этапе развития науки и техники немаловажное значение имеет исследование закономерностей процессов, протекающих в металлах и сплавах при ОМД. Большой интерес представляет изучение процессов с большими накопленными степенями деформации. Реализовать такие условия позволяют возможности многофункционального ис-

пытательного комплекса Gleeble 3500. В процессе испытаний, фактически, можно моделировать конечные свойства изделий, получаемых в реальных технологических процессах ОМД, например при многоклетевой горячей прокатке, ковке, штамповке и т.д.

Для моделирования свойств материалов, получаемых такими способами ОМД были проведены эксперименты по деформации низкоуглеродистой стали с температурой конца деформации 870°C. Максимальная накопленная степень деформации составила 8. Испытания проводились на модуле Pocket Jaw (растяжение-сжатие).

Методика проведения экспериментов заключается в следующем. В качестве исходных использовались цилиндрические образцы диаметром 10 мм и длиной 120 мм. Зона, свободная от контакта с губками, составила 20 мм. Материал образцов – сталь 20. Скорость деформации во всех экспериментах составляла 0,1 с⁻¹. Степень деформации определялась при помощи датчика поперечной деформации C-Strain с точностью 10⁻³ мм*. Истинная логарифмическая степень деформации рассчитывалась по формуле

$$\varepsilon = 2 \ln \left(\frac{d_0}{d_0 + \Delta d} \right). \quad (1)$$

Скорость деформации рассчитывалась по формуле

$$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt}. \quad (2)$$

Образцы нагревались до 1200°C за 60 с, выдержка при этой температуре составляла 60 с, затем проводилось охлаждение до температуры 1100°C за 15 с. В зависимости от эксперимента температура начала деформации варьировалась в диапазонах от 870 до 1100°C. Охлаждение от 1100 до 870°C осуществлялось со скоростью 2,8°C/с. После деформации скорость охлаждения образцов не контролировалась. В процессе проведения испытаний фиксировались текущие значения температуры, степени деформации, усилия деформирования. Частота сбора данных с соответствующих датчиков составляла 2 кГц. Условия проведения экспериментов и некоторые результаты представлены в таблице и на рис. 1.

На рис. 2 представлены графики зависимости сопротивления деформации для различных условий эксперимента.

Из результатов видно, что в первом эксперименте происходит рост сопротивления деформации, это связано с понижением температуры деформации и снижением скорости динамической рекристаллизации, но сопротивление деформации в конце первого эксперимента (при 870°C)

* Влияние больших деформация в горячем состоянии на структуру и свойства низкоуглеродистой стали /Н.Г. Колбасников, О.Г. Зотов, В.В. Дураничев, А.А. Наумов, В.В. Мишин, Д.А. Рингенен // Обработка металлов давлением. 2009. № 4. С. 25–31.

ниже на 46 МПа, чем в начале четвертого эксперимента при той же температуре. Можно предположить, что это связано с тем, что в конце первого эксперимента присутствует некоторая доля рекристаллизованной структуры, а в начале четвертого структура не рекристаллизована.

Режимы и сопротивление деформации в процессе обработки

Номер эксперимента	Температура начала деформации °С	Деформация	Степень деформации	σ_{\max} , МПа	$\Delta\sigma$
1	1100	20 циклов «Растяжение-Сжатие»	8	90	34
2	882	1 цикл «Растяжение-Сжатие»	0,4	139	--
3	882	Сжатие	0,4	136	--
4	870	20 циклов «Растяжение-Сжатие»	8	136	-31

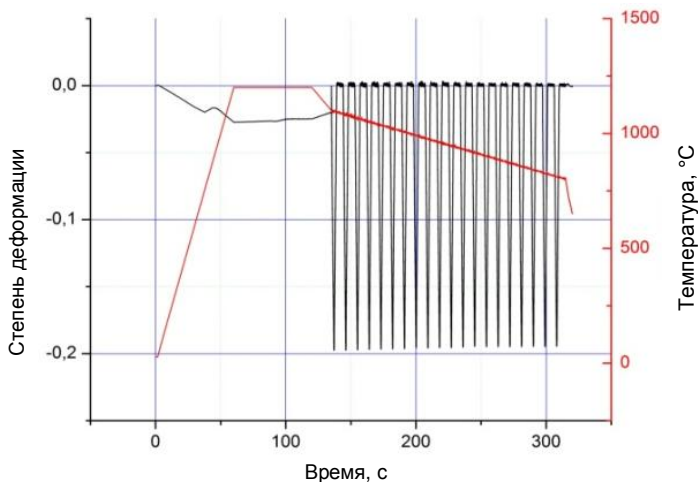


Рис. 1. Режим термомодеформационной обработки для эксперимента № 1

Результаты экспериментов

Сопротивление деформации в конце четвертого эксперимента равно 105 МПа, а в конце первого – 95 МПа, это подтверждает предположение о присутствии рекристаллизованной структуры в первом эксперименте в большем объеме, нежели в четвертом. В четвертом эксперименте можно наблюдать падение сопротивления деформации вследствие динамической рекристаллизации. Во втором и третьем эксперименте сопротивления деформации практически равны, т.е. можно сделать вывод, что оно не зависит от схемы нагружения, а зависит от степени деформации. Из графиков также можно констатировать, что в первом и четвертом эксперимен-

тах в пределах одного цикла сопротивление деформации при сжатии и растяжении примерно равны по модулю.

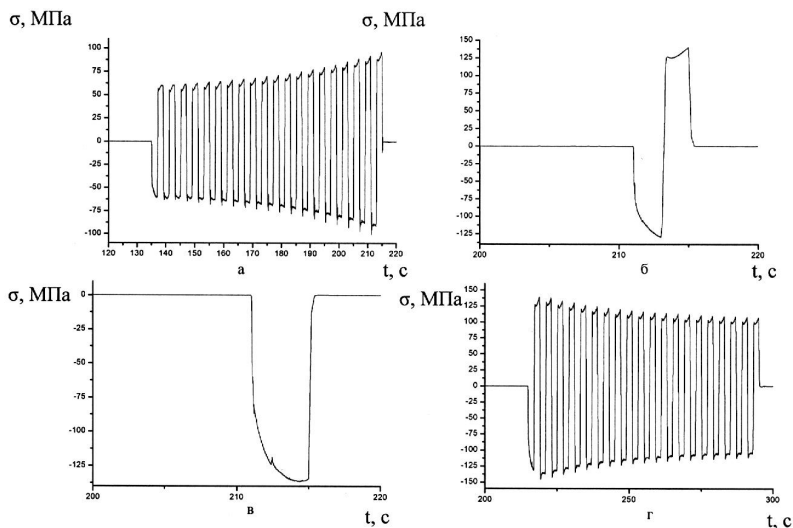


Рис. 2. Зависимость сопротивления деформации от времени при деформации:

а – эксперимент 1; б – эксперимент 2; в – эксперимент 3; г – эксперимент 4

На основе проведенных исследований можно установить, что осуществление деформации с более высоких температур ведет к ускорению процессов динамической рекристаллизации, что, в свою очередь, приводит к увеличению доли рекристаллизованной структуры и соответственно к снижению сопротивления деформации.

Работа проведена в рамках реализации программы стратегического развития университета на 2012 – 2016 гг. (конкурсная поддержка Минобразования РФ программ стратегического развития ГОУ ВПО), а также при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение № 14.В37.21.0068 «Разработка фундаментальных принципов проектирования многостадийных процессов термомодеформационного наноструктурирования стальных заготовок большого диаметра».

И.А. Долматова, М.А. Зяблицева

ВЛИЯНИЕ ОВОЩНЫХ ЦУКАТОВ НА КАЧЕСТВО И БЕЗОПАСНОСТЬ ЙОГУРТОВ

Рассмотрена возможность использования цукатов, полученных из овощей, произрастающих на территории Южного Урала, в производстве кисломолочных напитков. Исследовано влияние овощных цукатов на качество и безопасность обогащенного йогурта.

На сегодняшний день с целью сбалансирования питания населения актуально производство продуктов с выраженными лечебными свойствами, это связано, прежде всего, с тем, что современный человек подвержен влиянию множества негативных факторов. Постоянные стрессы и последствия плохой экологии отрицательно сказываются на работе всех систем организма. Также на состояние здоровья оказывает влияние рацион питания современного человека, который подразумевает потребление рафинированных продуктов с большим содержанием насыщенных жиров.

Для предупреждения различных заболеваний, укрепления защитных функций организма и снижения степени воздействия вредных веществ разрабатываются новые пищевые композиции, продукты целенаправленного воздействия. Особенный интерес вызывают кисломолочные продукты с растительными компонентами [8].

Качество полученных образцов цукатов из овощей зависит от следующих факторов: качества исходного сырья, санитарии и гигиены, соблюдения технологических параметров. Особое внимание необходимо уделить контролю готовой продукции [1]. Немолочные компоненты, используемые при производстве продуктов переработки молока, должны соответствовать требованиям Российской Федерации в области обеспечения качества и безопасности пищевых продуктов [9].

Органолептические показатели имеют большое значение при оценке качества овощных полуфабрикатов. В овощных полуфабрикатах органолептически определяют внешний вид, цвет, вкус и запах, консистенцию. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Результаты данных, представленных в табл. 1, свидетельствуют о том, что овощные цукаты имеют сладкий или кисло-сладкий вкус, присущий соответствующему виду овощей. Цвет исследованных цукатов из овощей максимально приближен к естественной окраске овощей, из которых они изготовлены. Консистенция цукатов плотная, без наличия комков выкристаллизовавшегося сахара. По внешнему виду цукаты представляют собой кусочки овощей одинакового размера, не слипшиеся между собой. Согласно результатам органолептических исследований значения нормируемых показателей соответствуют требованиям стандарта.

Таблица 1

Результаты органолептических показателей качества цукатов из овощей

Показатели	Вид цукатов		
	Цукаты из свеклы	Цукаты из моркови	Цукаты из тыквы
Внешний вид	Кусочки овощей одинакового размера, не слипшиеся между собой	Кусочки овощей одинакового размера, не слипшиеся между собой	Кусочки овощей одинакового размера, не слипшиеся между собой
Вкус	Кисло-сладкий	Сладкий	Сладкий
Цвет	Бордовый	Оранжевый	Янтарный
Консистенция	Плотная, без наличия комков выкристаллизовавшегося сахара	Плотная, без наличия комков выкристаллизовавшегося сахара	Плотная, без наличия комков выкристаллизовавшегося сахара

Содержание сухих веществ в овощных полуфабрикатах неоднозначно влияет на продолжительность сквашивания молока. Согласно нормативной документации овощные цукаты – это продукты переработки овощей с массовой долей сухих веществ не менее 80% [7]. В ходе лабораторных испытаний было проведено определение массовой доли влаги и сухих веществ в образцах цукатов из свеклы, моркови и тыквы по ГОСТ 5900-73 «Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ». Определение содержания сахара определялось йодометрическим методом по ГОСТ 5903-89 «Изделия кондитерские. Методы определения сахара» [4,5]. Результаты физико-химических исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-химические показатели цукатов из овощей

Вид цукатов	Массовая доля влаги, %	Массовая доля сухих веществ, %	Массовая доля сахара, %
Цукаты из свеклы	7,2	92,8	75
Цукаты из моркови	15,7	84,3	74
Цукаты из тыквы	16,5	83,5	75,5

Анализ данных, представленных в табл. 2, свидетельствует о том, что физико-химические показатели овощных цукатов находятся в пределах норм, установленных стандартом.

Для обеспечения гигиенической безопасности готовых цукатов осуществлялся контроль микробиологических показателей. Микробиологический контроль на пищевых производствах представляет собой все методы исследования и контроля, связанные с определением степени бактериальной обсеменённости контролируемого объекта, а также методы количественного учёта микрофлоры.

При контроле микробиологического качества и безопасности овощных цукатов использовали стандартизованные методы микробиологического

посева. При этом определяли мезофильные аэробные и факультативно-анаэробные микроорганизмы (КМАФАнМ) согласно ГОСТ 10444.15-94 «Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов» [2].

Бактерии группы кишечных палочек (колиформные бактерии) по ГОСТ Р 52816-2007 «Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий)» [6].

Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, определяли в соответствии с ГОСТ 30519-97 «Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода *Salmonella*».

Подготовка проб цукатов для микробиологических исследований проводилась в соответствии с ГОСТ 26669-85 «Продукты пищевые и вкусовые. Подготовка проб для микробиологических анализов (с Изменением N 1)» [3].

Требования СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» для цукатов представлены в табл. 3.

Результаты проведенных исследований контролируемых микробиологических показателей качества цукатов из овощей показали, что цукаты по микробиологическим показателям соответствуют требованиям и нормам СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов».

Таблица 3

Требования СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» для цукатов

Продукт	КМАФАнМ, КОЕ/г, не более	Масса продукта, в которой не допускается (г, см ³)		Дрожжи, плесени, КОЕ/г не более	Примечание
		БГКП (колиформы)	Патогенные, в том числе сальмонеллы		
Цукаты из овощей	$1 \cdot 10^3$	1,0	25	50	дрожжи 50 КОЕ/г, не более

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, о правильности выбора технологических параметров при производстве цукатов из овощей.

Список литературы

1. Белокриницкая Е. А., Чеснокова Н.Ю., Левочкина Л.В. Влияние овощных наполнителей на физико-химические свойства йогуртов / Е.А. Белокриницкая, Н.Ю. Чеснокова, Л.В. Левочкина // Пищевая промышленность. 2009. №5. С. 52–53.

2. ГОСТ 10444.15-94. Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. Взамен ГОСТ 10444.15-75. Введ. 1994-21-10. №б. Переиздан апрель 2003. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. 7 с.
3. ГОСТ 26669-85. Продукты пищевые и вкусовые. Подготовка проб для микробиологических анализов (с Изменением N 1). Взамен ГОСТ 10444.0-75. Введ. 1996-01-07. №2475. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. 9 с.
4. ГОСТ 5900-73. Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ. Взамен ГОСТ 5900-73. Введ. 1975-01-01. №3810. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. 6 с.
5. ГОСТ 5903-89. Изделия кондитерские. Методы определения сахара. Взамен ГОСТ 5903-77. Введ. 1991-01-01. №3498. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. С.131–153.
6. ГОСТ Р 52816-2007. Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий). Введ. 2007-27-12. №443 ст. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2007. 16 с.
7. ГОСТ Р 52467-2005. Продукты переработки фруктов, овощей и грибов. Термины и определения. Введ. 2005-29-12. №485 ст. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2005. 15 с.
8. Зяблицева М.А., Долматова И.А. Актуальность разработки кисломолочных напитков с овощными наполнителями // Качество продукции, технологий и образования: материалы VI Всерос. науч.-практ. конференции. Магнитогорск: МиниТип, 2012. С.322–326.
9. Российская Федерация. Законы. Технический регламент на молоко и молочную продукцию: федер. закон. [принят Гос. Думой 23 мая, 2008 г.: одобр. Советом Федерации 30 мая 2008 г. ФЗ от 12 июня 2008 г.]. М.: [б.и], 2008. 51 с.

УДК 664.871+641.887+664.9

Е.С. Вайскрובה, Р.Н. Абдрахманова

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ХАССП ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФЕРМЕНТИРОВАННОГО МЯСНОГО СОУСА

Рассмотрена сущность, общие положения системы ХАССП, а также изучены и описаны семь принципов данной системы применительно к производству ферментированного мясного соуса.

В настоящее время специально для пищевой промышленности разработана система ХАССП, основной целью которой является систематическая идентификация, оценка и управление опасными факторами, существенно влияющими на безопасность продукции, поэтому целесообразно будет применить к технологическому процессу производства ферментированного мясного соуса данную концепцию, гарантирующую производство безопасного продукта.

Преимуществом системы является постоянный контроль за опасными факторами и критическими контрольными точками. Система ХАССП базируется на пяти предварительных этапах и семи принципах [2,3].

В первую очередь необходимо реализовать пять этапов:

1) необходимо организовать рабочую группу, ответственную за разработку и внедрение системы ХАССП;

2) подготовить описание ферментированного мясного соуса и схемы его распределения;

3) составить описание целевого использования готового продукта и охарактеризовать потенциальных потребителей;

4) разработать технологическую карту процесса производства мясного соуса;

5) проверить точность технологической карты непосредственно при производстве ферментированного мясного соуса.

Далее необходимо приступить к внедрению семи принципов ХАССП.

Согласно первому принципу при производстве мясного соуса необходимо выявить и составить перечень рисков, чреватых возможным заражением сырья растительного и животного происхождения, которые с достаточной степенью вероятности могут проявить себя в процессе производства соуса, а также разработать профилактические меры, призванные не допустить появления и развития рисков.

Принимая во внимание значимость второго принципа, необходимо выявить и контролировать критические контрольные точки на соответствующих стадиях переработки сырья при получении продукта, к которым следует относить входной контроль, закладку ферментов, термическую обработку, с целью предотвращения, устранения или снижения допустимого уровня риска, чреватого заражением готового продукта.

Также следует отметить важность третьего принципа при производстве соуса: необходимо ввести критический предел, то есть такую максимальную или минимальную величину, за пределы которой не должен выходить биологический, химический или физический параметр. При этом критический предел измеряется и контролируется в критической контрольной точке с предотвращением, ограничением или уменьшением до приемлемого уровня возникновения риска для получаемого продукта.

Необходимость соблюдения требований четвертого принципа обусловлена вводом в процесс процедуры мониторинга, то есть сбор данных и создание информационной базы, на основе которой можно принимать решения и проводить корректирующие действия, к которым относятся:

- отбор и проверка образцов животного и растительного сырья;
- параметры ферментативной обработки;
- длительность термической обработки;
- проверка и регистрация температуры ферментированного мясного соуса;
- отбор образцов готового продукта для бактериального контроля и т.д.

Важность соблюдения пятого принципа при производстве соуса включает в себя необходимость проведения корректирующих действий. После того как выявлены опасные факторы и определены критические пределы и установлены процедуры мониторинга, необходимо разработать корректирующие действия, то есть действия, которые следует предпринимать в тех случаях, когда результаты мониторинга в критической контрольной точке показывают, что процесс вышел из-под контроля.

Следует также отметить необходимость применения шестого принципа, который заключается в разработке и внедрении процедур верификации. Результаты проверок помогут выявить слабые места в технологическом процессе при производстве мясного соуса, позволят его усовершенствовать, удалить лишние контрольные точки и обеспечить эффективность работы системы ХАССП.

Разработка процедуры регистрации данных и документирование является заключительным седьмым принципом в системе ХАССП. Необходимо включить в документацию при производстве соуса следующие документы:

- протокол измерений параметров производственного процесса;
- протоколы корректирующих действий в случае нарушения критических пределов;
- протоколы проверок, проводимые при калибровке средств измерений, лабораторных анализов и проверок эффективности работы системы ХАССП.

В заключение хотелось бы отметить, что применение системы ХАССП при производстве ферментированного мясного соуса позволит:

- предотвратить выпуск опасной для здоровья продукции;
- минимизировать риск безопасности продукта до приемлемого уровня;
- создать необходимые и достаточные условия для выпуска безопасной продукции;
- открыть пути для дальнейшего совершенствования производства [1].

Список литературы

1. ГОСТ Р 51705.1-2001. Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП. Общие требования. Введен 01.07.2001. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. 15 с.
2. Кальницкая О.И. Система ХАССП: принципы, методология. Сертификация / Всероссийский науч.-исслед. ин-т сертификации. М.: АО «Машмир», 2006. №2. С. 19–22.
3. Принципы ХАССП. Безопасность продуктов питания и медицинского оборудования / пер. с англ. О.В. Замятиной. М.: РИА «Стандарты и качество». 2006. 232 с.

Н.И. Барышникова, А.В. Паймулина

ПУТИ ОБОГАЩЕНИЯ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ СТЕВИЕЙ

Разработка новых мучных кондитерских изделий с функциональными ингредиентами растительного происхождения является перспективным и актуальным направлением в пищевой промышленности. В статье приведены сравнительные характеристики пищевой и энергетической ценности печенья разных видов, рассмотрены различные подсластители, произведен анализ пищевой и энергетической ценности сдобного печенья с использованием различных подсластителей, а также произведен расчет оптимального количества используемого подсластителя.

Сохранение и укрепление здоровья населения является важнейшей задачей любого государства. Продукты питания, кроме снабжения организма человека энергией, необходимыми нутриентами, выполняют и другие функции, наиболее важная из которых – профилактика и лечение ряда заболеваний. Одним из способов ликвидации дефицитных состояний – это использование лекарственных растений в производстве продуктов питания [1].

Разработка и внедрение в производство продуктов функционального назначения являются основными целями государственной политики в области здорового питания населения на период до 2020 года [2]. Ассортимент продуктов функционального назначения заметно пополнился, однако все еще недостаточным остается объем выпускаемых мучных кондитерских изделий.

Мучное кондитерское изделие представляет собой выпеченный пищевой продукт или изделие, содержащее в своем составе выпеченный полуфабрикат на основе муки и сахара, с содержанием муки в выпеченном полуфабрикате не менее 25%. К мучным кондитерским изделиям относят: печенье, вафли, пряничные изделия, кексы, рулеты, торты, пирожные, мучные восточные изделия [3]. У населения наибольшим спросом пользуется печенье (38,4% в общем объеме выработки мучных кондитерских изделий), разновидностью которого является сдобное. Оно характеризуется высоким содержанием сахара и крайне низким содержанием витаминов, пищевых волокон, а также макро- и микроэлементов.

При проведении сравнительной характеристики пищевой и энергетической ценности [3] печенья разных видов было установлено, что сдобное печенье отличается высокой энергетической ценностью (табл. 1).

Для придания сладкого вкуса и снижения калорийности планируется разработать сдобное печенье со стевией, которая будет вноситься в 0,07% от массы сырья.

Таблица 1

Сравнительная характеристика пищевой и энергетической ценности
различных видов печенья

Вид печенья	Белки, %	Жиры, %	Углеводы, %	Энергетическая ценность, ккал
Галеты	9,7	10,2	65,6	393,0
Печенье затяжное	8,5	11,3	69,7	414,5
Печенье миндальное	7,6	13,6	67,4	422,4
Печенье сахарное	7,5	9,8	74,4	415,8
Печенье сдобное	6,4	16,8	68,5	450,8

Анализ таблицы также показал, что по сравнению с другими видами печенья сдобное содержит меньшее количество белков (6,4%) и большее количество жиров (16,8%).

Во многих странах в последние годы проводятся работы по созданию и применению подсластителей, которые по степени сладости во много раз превосходят сахарозу, содержащуюся в кристаллическом свекольном или тростниковом сахаре. Наиболее перспективными являются подсластители натурального происхождения. В мировой практике для придания изделиям лечебно-профилактических свойств широко применяется стевия и продукты ее переработки как источник натурального заменителя сахара [5]. Основные достоинства стевии – сладкий вкус, она в 300 раз слаще сахара [6], за счет содержащихся в листьях комплекса сладких дитерпеновых гликозидов (фруктоза в 1,8 раз слаще сахара), низкая энергетическая ценность (табл. 2), безвредность при длительном употреблении и многое другое. Кроме того, она способствует нормализации концентрации глюкозы в крови и восстановлению нарушенного процесса обмена веществ [7].

Таблица 2

Сравнительная характеристика пищевой и энергетической ценности
сахарозы, фруктозы и сухих листьев стевии

Вид подсластителя	Белки, %	Жиры, %	Углеводы, %	Энергетическая ценность, ккал
Сахароза	0,0	0,0	99,8	399,2
Фруктоза	0,0	0,0	99,8	399,2
Стевия	9,4	0,5	26,6	148,5

Расчетным путем был произведен анализ пищевой и энергетической ценности сдобного печенья со стевией (табл. 3), которое обладает пониженным содержанием углеводов – 47,6%, что на 20,9% меньше по сравнению со сдобным печеньем, выработанным по традиционной технологии, у которого массовая доля углеводов составляет 68,5%, и на 11,6% меньше по сравнению со сдобным печеньем с фруктозой. Энергетическая ценность 100 г сдобного печенья со стевией составляет 367 ккал, что на

84 ккал меньше по сравнению со сдобным печеньем с сахарозой и на 47 ккал меньше, чем у сдобного печенья с фруктозой.

Таблица 3

Сравнительная характеристика пищевой и энергетической ценности сдобного печенья с сахарозой, фруктозой и стевией

Сдобное печенье	Белки, %	Жиры, %	Углеводы, %	Энергетическая ценность, ккал
Сдобное печенье с сахарозой	6,40	16,8	68,5	450,8
Сдобное печенье с фруктозой	6,40	16,8	59,2	413,6
Сдобное печенье со стевией	6,41	16,8	47,6	367,2

Таким образом, использование стевии в качестве подсластителя позволит понизить энергетическую ценность данного вида печенья и придать ему функциональное назначение.

Список литературы

1. Барышникова Н.И. Значение лекарственных растений в производстве продуктов питания // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й межрегион. науч.-техн. конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. Т.1. С. 317–318.
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25 октября 2010 г. №1873-р, г. Москва.
3. ГОСТ Р 53041-2008. Изделия кондитерские и полуфабрикаты кондитерского производства. Термины и определения.
4. Химический состав российских пищевых продуктов: справочник / под ред. член-корр. МАИ, проф. И.М. Скурихина и академика РАМН, проф. В.А.Тутельяна. М.: ДеЛи принт, 2002. 236 с.
5. Верзилина Н.Д. Изучение химического состава стевии // Пищевая промышленность. 2005. №7. С. 68.
6. Полянский К.К., Подпороинова Г.К., Богомолов Д.М. Стевия в продуктах целебно-профилактического назначения // Пищевая промышленность. 2005. №5. С. 58.

УДК 671.67.06

Т.Н. Зайцева, В.Ф. Рябова, Е.Н. Малова

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО РЫНКА ТВОРОГА г. МАГНИТОГОРСКА

В статье представлено исследование потребительского рынка творога г. Магнитогорска. Данный материал будет являться основой для разработки рецептур новых видов творожных изделий.

Творог – это один из самых ценных и полезных продуктов, которые известны человеку с древности. Скорее всего, первобытные люди научились готовить его совершенно случайно еще во времена неолита, когда начали приручать коз и коров. В настоящее время творог приобретает все большую популярность среди потребителей благодаря хорошим органолептическим показателям. Кроме того, данный продукт обладает высокой пищевой ценностью, обусловленной повышенным содержанием важных для организма аминокислот, особенно метионина, лизина. Большое содержание в твороге минеральных веществ положительно сказывается на построении тканей и костеобразовании [2].

С каждым годом на молочном рынке увеличиваются объемы потребления, довольно активно растет спрос на новинки. В этой связи на потребительском рынке города Магнитогорска было проведено комплексное маркетинговое исследование, позволяющее оценить степень дистрибуции различных марок/производителей в розничной торговой сети города, выделить основные тенденции в развитии магнитогорского молочного рынка и определить марочные предпочтения целевой группы потребителей по отдельным видам молочной продукции. К целевой группе были отнесены женщины 25–55 лет, покупавшие за месяц – сентябрь 2011 года – не менее двух видов молочной продукции. Маркетинговое исследование проводилось методом анкетирования [1,3].

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о том, что большинство потребителей кисломолочной продукции составляют женщины 68%, и лишь всего 32% мужчины. Далее проанализируем отношение респондентов к качеству продукции. Для анализа причины покупки творога выяснили, с какой частотой респонденты покупают творог (рис. 1).

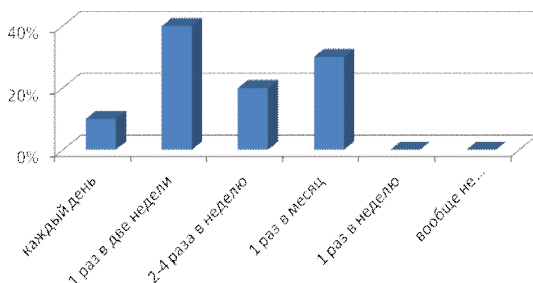


Рис. 1. Частота покупки творога

Анализ рис. 1 показывает, что респонденты предпочитают покупать творог один раз в две недели.

Далее логичным было узнать, для кого приобретается данный продукт. И из всего количества опрошенных 80% респондентов покупают творог для себя и по 10% для детей и других членов семьи (рис. 2).

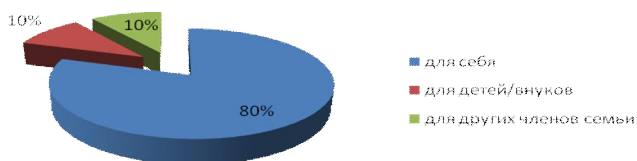


Рис. 2. Социальный адрес покупки творога

Срок хранения творога, как и любой другой продукции, для всех респондентов играет самую важную роль в приобретении товара. И при анализе данных на этот вопрос все 100% предпочли творог с ограниченным сроком хранения.

Жирность творога также занимает не последнее место при выборе творога. Анализ рисунка показывает, что большинство респондентов предпочитают нежирный 2–5% творог (70%), классический – 25%, а также 2% респондентов ответили, что не видят никакой разницы (рис. 3).

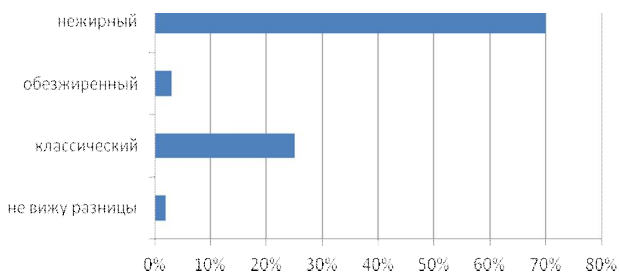


Рис. 3. Распределение потребительских предпочтений творога по жирности

При анализе торговых марок лидерами опроса стали ОАО «Первый вкус» – 45% и «Ситно» – 25%. Основным критерием выбора этих марок послужила реклама и местное производство продукции. Оставшиеся торговые марки разделили процентное соотношение по индивидуальным особенностям респондентов (рис. 4).

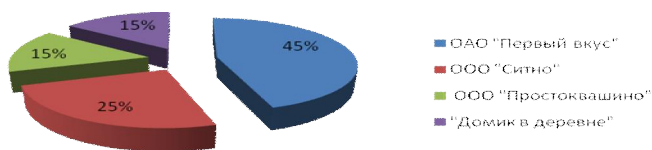


Рис. 4. Распределение потребительских предпочтений по маркам-производителям

При покупке творога, покупатели в основном руководствуются це-

ной (30 %), сроком хранения (27%) и качеством (23 %) (рис. 5).

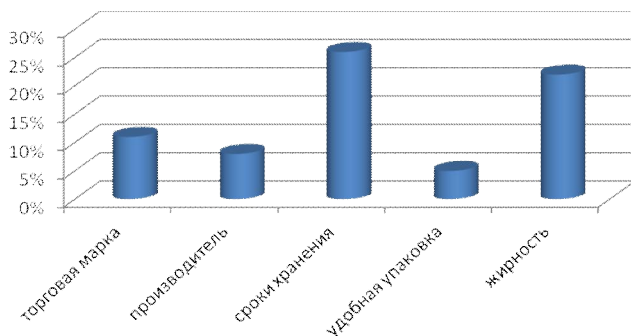


Рис. 5. Потребительские предпочтения на рынке творога

Выбор ассортимента творога в магазине также показал интересные результаты. С перевесом в 10%, наши потребители все-таки довольны выбором продукции творога в магазинах. Но то, что 40% не довольны, тоже имеет большое значение, чтобы реализаторы задумались над этим.

Для магнитогорского рынка молочной продукции, как и для многих других региональных рынков, характерна сезонность, которая проявляется в изменении потребительских предпочтений. Если в зимнее время года большим спросом пользуется молоко, то летом магнитогорцы чаще приобретают кисломолочную продукцию. В отношении других видов молочной продукции – десертов, коктейлей, йогуртов – сезонные колебания спроса не так заметны.

Расширение ассортиментного ряда и стимулирование продаж того или иного продукта происходит в основном за счет вывода на рынок новой торговой марки, изменения дизайна и объема упаковки. В то же время представители торговых предприятий считают, что региональные производители, внося изменения в свой продукт, уделяют недостаточно внимания продвижению собственной продукции, перекладывая это бремя на торговую сеть.

Список литературы

1. Голубков Е.П. Маркетинговые исследования: теория, методология и практика: учебник. М.: Финпресс, 2005 464 с.
2. Значение творога в рациональном питании [Электронный ресурс]. URL: <http://www.vashaibolit.ru>
3. Рынок творога и сметаны в России [Электронный ресурс] // URL: <http://www.marketcenter.ru>

УДК 621.778.8:004.9

В.А. Харитонов, Э.Р. Ямтеева, Е.С. Сафонова

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПРЕФОРМАЦИИ ПРОВОЛОК ПРИ СВИВКЕ КАНАТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА DEFORM 3D

Предложена методика расчета параметров преформации с применением программного комплекса Deform3D, позволяющая учитывать форму проволоки и ее механические свойства. Получены данные о влиянии изменения параметров преформации на напряженно-деформированное состояние проволок.

В процессе свивки каната его элементы испытывают упругопластические деформации изгиба, растяжения и кручения, за счет которых в проволоках возникают нормальные и касательные напряжения, неблагоприятным образом влияющие на усталостную прочность отдельных проволок и эксплуатационную стойкость каната в целом. Для нейтрализации или перераспределения остаточных напряжений в проволоках каната применяются различные методы механической обработки [1,2]. Одним из них является преформация, сущность которой заключается в придании проволокам той формы, которую они приобретают при свивке.

В последнее время при исследовании напряженно-деформированного состояния канатов достаточно широко стал применяться метод конечных элементов (МКЭ) [3–5]. Его использование позволяет решить задачу пластического течения металла и проводить вычисления изменения требуемых параметров по заданным формулам [6]. Реализация МКЭ возможна, в частности, с помощью пакетов прикладных программ: ABAQUS, MARC, DYNA, DEFORM (США); FORGE (Франция); QFORM, РАПИД, SPLEN (Россия).

Целью работы является разработка методики расчета параметров преформации проволок, свиваемых в канат, с применением программного комплекса Dform3D. Методика включает в себя модель реального процесса преформации проволоки при свивке каната с учетом механических свойств и формы проволоки, анализ результатов моделирования и выдачу рекомендаций по настройке преформатора.

В программном комплексе Deform 3D проведено моделирование процесса преформации проволок при свивке каната конструкции 1+6 (на проволоку-сердечник, диаметром 2,1 мм навивается 6 одинаковых проволок диаметром 2,05 мм, диаметр свиваемого каната 6,20 мм) в соответствии с ГОСТ 13840. Угол свивки составляет 19°, шаг свивки – 54 мм. Поскольку настройка параметров преформации всех шести проволок одинакова, смоделирован процесс преформации только одной проволоки.

В связи с тем, что преформация должна обеспечивать нейтрализацию нормальных напряжений, тем самым обеспечивая нерасплетаемость каната, в процессе исследования нами изучалось изменение технологических параметров пряди в зависимости от варьируемых факторов. Это

фактический шаг свивки H и плотность прилегания проволоки повива к центральной проволоке-сердечнику h (т.е. расстояние от проволоки повива до сердечника в полученной пряди), а также отношение фактического шага свивки к расчетному шагу H_0 . Эталонными являются следующие значения технологических параметров полученной пряди: $H=54$ мм, $h=0$ мм, $H/H_0=1$. В результате получены графики зависимостей исследуемых параметров от варьируемых факторов (рис. 1).

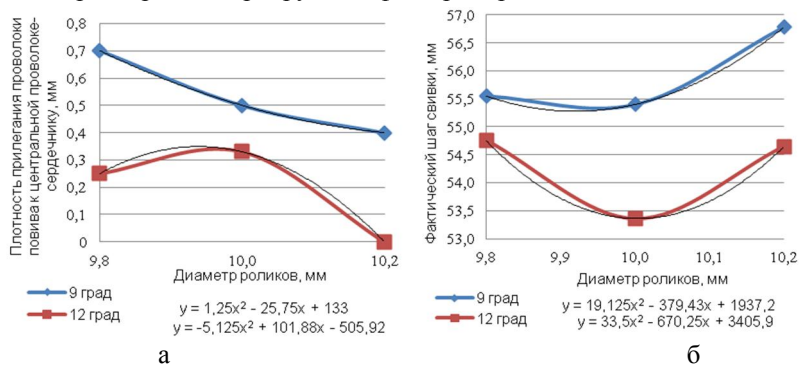


Рис. 1. Изменение технологических параметров (а – плотность прилегания проволоки к сердечнику; б – фактический шаг свивки) в зависимости от диаметра роликов преформатора при значениях угла преформации 9 и 12°

Анализ полученных результатов показал, что плотность прилегания проволоки повива к центральной проволоке-сердечнику изменяется следующим образом: при угле преформации 9° с увеличением диаметра роликов плотность прилегания уменьшается, достигая при диаметре роликов 10,2 мм минимального значения 0,4 мм; при угле преформации 12° с увеличением диаметра роликов плотность прилегания возрастает, затем снижается и достигает эталонного значения 0 мм при диаметре роликов 10,2 мм. Фактический шаг свивки изменяется следующим образом: при угле преформации 9° его значения значительно превышают эталонное значение; при угле преформации 12° с увеличением диаметра роликов фактический шаг свивки уменьшается, затем опять увеличивается, достигая эталонного значения при диаметре роликов 9,9 и 10,1 мм. В результате получены зависимости, позволяющие при заданном угле преформации определить диаметр роликов преформатора, при котором технологические параметры будут равны эталонным (расчетным) (см. рис. 1).

Критериями оценки деформированного состояния преформируемой проволоки являются степень деформации сдвига и степень накопленной деформации (за весь процесс). Деформация сдвига или эффективная (Von Mises) – это деформация, приводящая к изменению формы проволоки. Ее определяют по формуле $\bar{\varepsilon} = \sqrt{2/3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}$, где

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – главные деформации. Накопленная деформация или истинная определяется как сумма большого количества сколь угодно малых приращений деформации. Интегрирование этого общего изменения длины дает: $\varepsilon = \ln l_1/l_0$, где l_1, l_2 – начальная и конечная длина.

По результатам оценки данных факторов построены зависимости изменения сдвиговых и накопленных деформаций от изменения угла преформации и диаметра роликов преформатора. Анализ этих зависимостей показывает, что при неизменном диаметре роликов увеличение угла преформации ведет к повышению доли сдвиговых деформаций. Сдвиговые деформации максимальны при угле преформации 12° , однако при дальнейшем повышении угла преформации доля сдвиговых деформаций снижается. При неизменном угле преформации изменение степени накопленной деформации имеет восходящий характер и достигает максимальных значений при диаметре роликов 10,2 мм.

Рассмотрено также распределение деформаций проволоки на роликах и в плашке. На рис. 2 представлены гистограммы распределения сдвиговых деформаций в крайних волокнах проволоки от первого ролика до плашки.

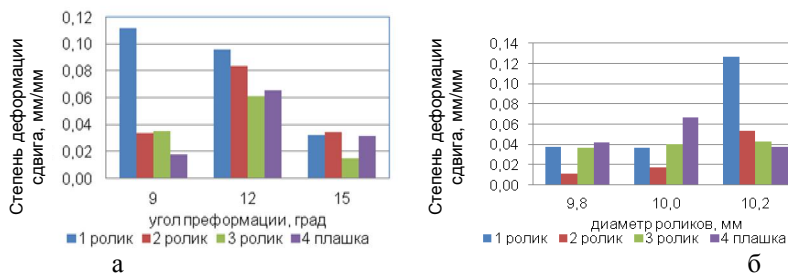


Рис. 2. Распределение сдвиговых деформаций в крайних волокнах проволоки от первого ролика до плашки в зависимости от: а – угла преформации; б – диаметра роликов

Анализ результатов показывает, что при постоянном диаметре роликов и угле преформации, равном 9° , проволока деформируется максимально на первом ролике и минимально в плашке, при этом наблюдается высокая неравномерность деформаций; при значении угла преформации 12° доля сдвиговых деформаций также убывает от первого ролика к плашке, но распределение деформаций более равномерно; при угле преформации 15° возрастает доля сдвиговых деформаций в плашке. При неизменном угле преформации с увеличением диаметра роликов доля сдвиговых деформаций в плашке возрастает и только при диаметре роликов 10,2 мм она резко убывает.

Проведенный анализ показал, что в рассмотренном случае рациональными параметрами настройки преформатора при свивке каната кон-

струкции 1+6 диаметром 6,20 мм, являются: угол преформации 12° , диаметр роликов 10,2 мм, расстояние между роликами 50 мм.

Вывод: 1) С применением программного комплекса Deform3D разработана модель процесса преформации проволоки при свивке каната, позволяющая учитывать форму и механические свойства проволоки, а также визуально наблюдать за процессом. 2) Проведен анализ изменения фактического шага свивки и плотности прилегания проволоки повива к центральной проволоке-сердечнику в зависимости от изменения диаметра роликов и угла преформации и получены зависимости, позволяющие при заданном угле преформации определить требуемый диаметр. 3) Оценено влияние угла преформации и диаметра роликов на степень накопленной и сдвиговой деформации.

Список литературы

1. Букштейн М.А. Производство и использование стальных канатов. М.: Металлургия, 1973. 360 с.
2. Мольнар В.Г., Владимирюв Ю.В. Технологические основы производства стальных канатов. М.: Металлургия, 1975. 200 с.
3. Чаюн И.М., Чаюн М.И. Метод конечных элементов в исследовании деформированного и напряженного состояния канатов // Стальные канаты. Вып. 2. Одесса: «АстроПринт», 2002. С. 24–34.
4. Емельянов И.Г., Картак Б.Р., Кузнецов В.Ю. Конечно-элементная модель напряженного состояния стального каната // Сталь. 2001. №10. С. 50–52.
5. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы: пер. с англ. М.: Мир, 1984. 428 с.
6. Vilceanu Lucia, Babeu Tiberiu Dimitrie, Ghita Eugen. Численный анализ расчета скорости службы проволочных канатов методом конечных элементов // Стальные канаты. Вып. 3. Одесса: «АстроПринт», 2003. С. 95–99.

УДК 621.1.016

В.Г. Рыжков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОРНЕЙ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ ЗАДАЧ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ MATHCAD

В работе разработан алгоритм определения заданного количества корней μ_n характеристических уравнений в векторной форме с заданной погрешностью при любых значениях критерия Био. Этот алгоритм реализован с помощью программных средств пакета Mathcad. Разработанные алгоритм и программа могут быть использованы для решения любых характеристических уравнений, используемых в задачах теплопроводности.

Аналитические решения дифференциальных уравнений теплопроводности (температурного поля), как правило, включают бесконечные ряды, зависящие от параметра μ_n . Этот параметр представляет собой корни следующих характеристических уравнений [1]:

– для граничных условий первого рода (в случае пластины и цилиндра соответственно)

$$ctg\mu = 0 \quad \text{и} \quad (1)$$

$$J_0(\mu) = 0; \quad (2)$$

– для граничных условий третьего рода (в случае пластины и цилиндра соответственно)

$$ctg\mu = \frac{\mu}{Bi} \quad \text{и} \quad (3)$$

$$\frac{J_0(\mu)}{J_1(\mu)} = \frac{\mu}{Bi}, \quad (4)$$

где $J_0(\mu), J_1(\mu)$ – функции Бесселя первого рода нулевого и первого порядков соответственно; Bi – критерий Био.

Отметим, что так как уравнения имеют бесчисленное количество корней, то при расчетах температурного поля ограничиваются первыми несколькими корнями, количество которых следует уточнять в процессе расчета.

В литературе по теплопроводности [1] даны таблицы, содержащие несколько первых корней μ_n (с точностью не более четырех – шести значащих цифр) в зависимости от некоторых величин критерия Био. Это накладывает определенные ограничения на погрешность и возможность автоматизации расчетов.

В связи с изложенным выше, в настоящей работе была поставлена задача – разработать алгоритм определения заданного количества корней μ_n уравнений (1)–(4) в векторной форме с заданной погрешностью при любых значениях Био и реализовать его с помощью пакета Mathcad.

В наших предыдущих работах [2,3] было установлено, что уравнения (1), (2) и (3) легко решаются с помощью блока решения *given...find*, встроенного в пакет Mathcad. Для этого достаточно задать требуемое количество корней, начальные значения их и затем использовать блок решения.

Сложнее определять корни уравнения (4). Отметим, что функция $J_0(\mu)/J_1(\mu)$ в левой части уравнения (4) является квазипериодической – её период постепенно уменьшается от значения, примерно равного 3,84, до π . Как показано в статье [3], использование блока решения выдаёт набор корней, содержащий нулевые, повторяющиеся и даже отрицательные зна-

чения. Причем набор выдаваемых корней зависит и от величины критерия Био, и от начальных значений. Поэтому, чтобы получить требуемое количество корней, нужно было задавать количество искомых корней «с запасом», причем заранее неизвестным. В связи с этим в работе [3] использовались дополнительные операции обработки (сортировка и стыковка векторов).

ПРОГРАММА ПОИСКА КОРНЕЙ УРАВНЕНИЯ (4)

```

Критерий Био      Bi := 1
Количество искомых корней  N := 10
1. Поиск корней уравнения J1(μ)=0 с помощью блока решения
    k := 1..N      xk := 3.14·k
    Given  J1(x) = 0  M := Find(x)
2. Задание интервалов поиска корней
    k := 0..N - 1  δ := 0.01  x1k := Mk + δ  x2k := Mk+1 - δ
3. Задание функции (уравнения(4))  f(x) :=  $\frac{J0(x)}{J1(x)} - \frac{x}{Bi}$ 
4. Задание абсолютной погрешности вычислений  ε := 10-6
5. Программа метода половинного деления
Div2(f, x1, x2, ε) :=  $\left\{ \begin{array}{l} L \leftarrow x2 - x1 \\ \text{while } L > \epsilon \\ \quad \left\{ \begin{array}{l} c \leftarrow \frac{x2 + x1}{2} \\ x2 \leftarrow c \text{ if } f(c) \cdot f(x1) < 0 \\ x1 \leftarrow c \text{ otherwise} \\ L \leftarrow x2 - x1 \end{array} \right. \\ c \end{array} \right.$ 
6. Вывод результата  μk := Div2(f, x1k, x2k, ε)

```

$$\mu^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	
	0	1.256	4.079	7.156	10.271	13.398	16.531	19.667	...

Листинг программы поиска корней μ_n

Чтобы избавиться от этих недостатков, предлагается следующий алгоритм определения вектора корней μ_n .

После задания требуемого количества корней определяются интервалы, в которых они находятся. Эти интервалы располагаются между точками разрыва функции, стоящей в правой части уравнения (4), т.е. при $J_1(\mu) = 0$. Эта задача решается с помощью блока решения *given...find* (см. рисунок).

Обозначим точки разрыва через M_k . Тогда интервалы существования корней можно задать по формулам:

$$x1_k = M_k + \delta \text{ и } x2_k = M_{k+1} - \delta, \quad (5)$$

где $k = 0, 1, \dots, N - 1$ – номер интервала (корня); N – число искоемых корней; δ – величина смещения от точки разрыва, в качестве которой может быть принята допустимая погрешность вычислений.

Затем в каждом интервале отыскивается корень, используя известную [4] программу половинного деления Div2() (см. рисунок).

Результаты выведены на печать с ограниченным числом для экономии места. Данная программа была оттестирована и показала высокую стабильность работы и может быть использована для расчета температурных полей в качестве подпрограммы.

Список литературы

1. Теория тепломассообмена: учебник для вузов / под ред. А. И. Леонтьева. М.: Высш. школа, 1979. 495 с., ил.
2. Рыжков В.Г. Поиск корней характеристических уравнений задач теплопроводности с помощью программы MathCAD // Образование. Наука. Производство: сб. науч. трудов конф. Вып. 2. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. С.30–32.
3. Рыжков В.Г. К вопросу о поиске корней характеристических уравнений, задач теплопроводности с помощью программы Mathcad // Образование. Наука. Производство: сб. науч. трудов. Вып. 4. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. С. 94–97.
4. Поршнев С.В., Беленкова И.В. Численные методы на базе Mathcad. СПб.: БХВ – Петербург, 2005. 464 с.

УДК 621.778.08

В.А. Харитонов, И.М. Петров

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ БУНТОВОЙ АРМАТУРНОЙ СТАЛИ

Рассмотрены современные требования к бунтовой арматурной стали и проведено сравнение требований отечественных и зарубежных стандартов. Проведена оценка эффективности различных вариантов производственного процесса изготовления арматурной стали, на основании которой определены направления их развития.

Российский железобетон сегодня, даже при применении тех же или однотипных технологий и оборудования, уступает железобетону европейских производителей по следующим важным признакам: энергосбереже-

нию, металлоемкости, индустриальности, долговечности и сейсмостойкости (безопасности). Это серьезное отставание является основанием сказать о том, что технология отечественного сборного железобетона по признакам используемых компонентов пока остается в кризисном состоянии [1].

Наиболее современным отечественным стандартом на арматурную сталь является ГОСТ 52544-2006. В европейской и международной практике проектирования и строительства в соответствии с международным стандартом EN1992-1-1 Eurocode2 для арматуры, используемой в ненапряженном железобетоне, включены три категории пластичности: А, В и С. Категория С соответствует сейсмостойкой арматурной стали. Показатель полного относительного удлинения при максимальном напряжении A_{gt} для указанных категорий соответственно составляет $\geq 2,5$, ≥ 5 и $\geq 7,5\%$ при трёх различных классах прочности, характеризующихся пределом текучести σ_t . Также важным показателем является высокое сцепление с бетоном, характеризующееся относительной площадью смятия поперечных рёбер профиля f_R . Формат поставки арматурной стали – важная экономическая составляющая для потребителей. В мировой практике на смену формата бухт горячекатаного проката приходит формат бухт рядной смотки [2]. Сравнение некоторых требований ГОСТ 52544-2006 и EN1992-1-1 приведено в табл. 1

Таблица 1
Сравнение требований ГОСТ 52544-2006 и EN1992-1-1

Требования	Eurocode2	ГОСТ 52544-2006
Сортамент	4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0; 8,5; 9,0; 9,5; 10,0; 11,0; 12,0; 14,0; 16,0; 20,0; 25,0; 28,0; 32,0; 40,0; 50,0	4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0; 14,0; 16,0; 18,0; 20,0; 22,0; 25,0; 28,0; 32,0; 36,0; 40,0
Предел текучести σ_t , Н/мм ²	400; 500; 600	500
Полное относительное удлинение при максимальном напряжении A_{gt} , %	Категория А – 2,5; Категория В – 5,0; Категория С – 7,5	2,5
Минимальное значение относительной площади ребер f_R	0,035–0,056	0,035–0,056
Временное сопротивление σ_b , Н/мм ²	550	550
Содержание углерода, %	0,24	0,24
Углеродный эквивалент, $C_{эkv}$	0,52	0,52

Для изготовления арматурной стали организуется производственный процесс, в котором непосредственно формируются её показатели качества. Основой производственного процесса является технологический процесс. Основные операторы – специалисты и технологическое оборудование – обеспечивают реализацию процесса. Для повышения его эф-

фективности используются обобщенные операторы: внутренние и внешние условия, специальная информация, управление и регулирование [3, 4]. Основой технологического процесса при производстве арматурной стали являются операции обработки металлов давлением.

Технология с соответствующей материальной базой предприятия и персонал определяют основные условия производства и служат базой качества [5]. Если предприятие в процессе создания продукции использует передовую технологию и имеет соответствующую ей материальную базу, а также квалифицированный персонал, заинтересованный в результатах своего труда, значит, имеется благоприятная база качества.

Такая база создает возможность улучшения качества продукции. Для реализации возможностей, создаваемых базой качества, необходимо четко организовать управление качеством, в том числе на оперативно-тактическом уровне.

Отсутствие необходимой базы качества приводит к тому, что процесс управления качеством будет проходить вхолостую, без улучшения качества продукции или даже будет иметь место снижение качества продукции [6].

Для производства конкурентоспособной арматурной стали необходимо оценить эффективность действующих технологий, с целью определения направления их развития или проектирования новых технологий, обладающих достаточной эффективностью.

При анализе были рассмотрены различные технологии производства арматурной стали в зависимости от метода обработки металлов давлением, лежащего в их основе: волочение (в монолитной и роликовой волоке), прокатке (холодной, тёплой и горячей), профилирование термоупрочнённой заготовки и способ «Stretching», заключающийся в обработке горячекатаного подката по схеме «растяжение-знакопеременный изгиб».

Оценить эффективность процесса можно, используя закон экономии времени [7]:

$$ВПП = \frac{ПТ + ЖТ + БТ}{П_c} \Rightarrow \min.$$

$П_c$ – комплекс свойств арматурной стали. Используя метод ранжирования, присвоим ранее выделенным группам свойств, в случае если они выполняются, следующие значения: пластичность 0,40 (арматура классов В и С); прочность 0,25 (предел текучести 500 Н/мм²); сцепление с бетоном 0,20; эксплуатационные свойства 0,15 (использования рядной намотки при формировании бунта).

ПТ – заготовка, используемая для производства арматурной стали. Если используется заготовка без дополнительной обработки, то значение ПТ принимается равным 1. Если используется термоупрочнённая заготовка, то ПТ принимается равным 2.

Значение ЖТ было принято равным количеству операций.

При наличии возможности использования рядной намотки в технологии примем значение БТ равным 1, в случае отсутствия – 2.

Возможность получения перечисленных свойств для различных вариантов технологических процессов приведена в табл. 2.

Таблица 2

Возможность получения перечисленных свойств для различных вариантов технологических процессов

Процесс	σ_T	Agt	f_R	Рядная намотка
Волочение	+	-	-	+
Роликовое волочение	+	-	-	+
Холодная прокатка	+	+	-	+
Тёплая прокатка	+	+	+	+
Волочение термоупроч. заготовки	+	-	-	+
Профилирование заготовки	+	-	-	+
Горячая прокатка	-	+	+	-
«Stretching»	+	+	+	+

Расчетные значения эффективности приведены в табл. 3.

Таблица 3

Эффективность различных технологических схем производства арматурной стали

Процесс	Пс	ПТ	ЖТ	БТ	ВПП
Волочение	0,4	1	9	1	27,5
Роликовое волочение	0,4	1	6	1	20,0
Холодная прокатка	0,6	1	5	1	11,7
Тёплая прокатка	1,0	1	6	1	8,0
Волочение термоупроч. заготовки	0,4	2	8	1	27,5
Профилирование заготовки	0,4	2	6	1	22,5
Горячая прокатка	0,6	2	4	2	13,3
«Stretching»	1,0	4	3	1	8,0

Как видно из таблицы, по значению коэффициентов наибольшую эффективность имеют методы «Stretching» для диаметров свыше 6,0 мм и тёплая прокатка арматурной стали для диаметров от 3,0 до 6,0 мм.

Список литературы

1. Дорохин П.С., Харитонов В.А. Прогресс в структуре потребления арматурного проката диаметром до 18 мм неизбежен // Стройметалл. 2012. №3. С. 14–23.
2. Аникеев В.В., Харитонов В.А. Арматура нуждается в унификации требований // Металлоснабжение и сбыт. 2010. №10. С.60–65.
3. Харитонов В.А. Классификация способов ОМД по технологическим признакам при производстве проволоки // Моделирование и развитие процессов об-

- работки металлов давлением: междунар. сб. науч. тр. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск, гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 49–58.
4. Харитонов В.А., Зайцева М.В. Производство волочением проволоки из низкоуглеродистых марок стали; проектирование, технология, оборудование: учеб. пособие. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2011. 167 с.
 5. Огвоздин В.Ю. Модель качества // Стандарты и качество. 2006. №1. С. 63–64.
 6. Управление качеством продукции машиностроения / под ред. М.М. Кане. М.: Машиностроение, 2010. 416 с.
 7. Фатхутдинов Р.А. Стратегический маркетинг: учебник. М.: ЗАО «Бизнес-школа «Интел-Синтез», 2000. 640 с.

УДК 331.108.5

Э.Р. Ладыгина, М.П. Барышников, Г.Ш. Рубин

ОЦЕНКА ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВНУТРЕННЕГО АУДИТА

В статье определены более полные критерии оценки результативности и эффективности работы подразделения в области управления качеством, в отличие от используемых на предприятиях. Кроме того, была введена классификация несоответствий.

Аудит (проверка) – систематический, независимый и документированный процесс получения свидетельств аудита (проверки) и объективного их оценивания с целью установления степени выполнения согласованных критериев аудита (проверки).

Несоответствие – невыполнение установленного требования.

Результативность – степень реализации запланированной деятельности и достижения запланированных результатов.

Эффективность – связь между достигнутым результатом и использованными ресурсами*.

Результаты внутреннего аудита СМК можно использовать для оценки результативности и эффективности работы подразделений.

Некоторые предприятия при проведении такой оценки, за основные критерии принимают число несоответствий (значительных, малозначительных и повторных) и результативность и эффективность корректирующих и предупреждающих мероприятий.

Однако для полной оценки необходимо определить более детальную классификацию критериев.

* ГОСТ ISO 9000-2011. Межгосударственный стандарт системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. М.: Стандартинформ, 2012.

Пример классификации представлен далее.

Классификация критериев оценки подразделений по результатам аудита:

- 1) В подразделении подтверждено соответствие требованию:
 - требование превышает;
 - требование превышает и непрерывно улучшается;
 - требование выполняется в полном объеме.
- 2) В подразделении обнаружено несоответствие требованию:
 - не требующее (требующее) корректирующих действий;
 - повторное;
 - исправлено в процессе аудита;
 - напрямую (не) влияет на качество продукции;
 - (не) требует затрат на устранение;
 - не преднамеренное (преднамеренное) несоответствие;
 - требование выполняется частично;
 - несоответствие, (не) ухудшающее качество основной продукции;
 - несоответствие, (не) ухудшающее качество вспомогательной продукции, обеспечивающей требуемый уровень качества основной продукции;
 - потенциальное.
- 3) При оценке результативности подразделения было выявлено, что:
 - СМК оказывает влияние на работу подразделения и процесс, в котором участвует подразделение;
 - СМК оказывает влияние на стабильность работы подразделения и процесса, в котором участвует подразделение.
- 4) При анализе причин несоответствий в подразделении:
 - нарушитель был (не был) проинформирован о требовании;
 - несоответствие произошло по зависящим (независящим) от подразделения причинам;
 - в подразделении (не) были предприняты меры для устранения несоответствия;
 - нарушители (не) знали о несоответствии;
 - принятое решение о причине и способе устранения несоответствий основано на фактах.
- 5) При анализе результативности корректирующих и предупреждающих действий, разработанных и осуществленных в подразделении:
 - предупредительные действия (не) привели к устранению причины потенциального несоответствия;
 - корректирующие действия (не) привели к устранению причины несоответствия или не обеспечили устранение возникновения повторных несоответствий;
 - корректирующие действия (не) привели к улучшению.

Планируется разработать методику оценки подразделений по результатам аудита, оценив весомость перечисленных критериев экспертным методом. Оценка позволит определить «узкие» места работы подразделения и пути их устранения, что приведет к улучшению.

И.Г. Шубин, Е.А. Бурмистрова

АНАЛИЗ ПРИЧИН ПОЯВЛЕНИЯ «ТРЕЩИН» НА ЛИСТОВОМ ПРОКАТЕ ТРУБНЫХ МАРОК СТАЛИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ НА ШСГП

Сделан подробный анализ сквозной технологии производства штрипса для трубопроводов, произведенного на ШСГП, и выявлены основные факторы производства, влияющие на образование и развитие «трещин». Проанализированы базовые методики для расчета возможности зарождения новых «трещин» с учетом их формы (критерии разрушения), также рассмотрены методики расчета разрастания имеющихся «трещин» (критерии прочности).

Вопросы качества трубного металлопроката в условиях бурного развития газопроводов в России являются актуальными для всего металлургического сообщества. Большая часть существующих трубопроводов требует реконструкции, а развитие перспективных месторождений – повышенного качества выпускаемой продукции при строительстве и эксплуатации, так как находится в тяжелых природных условиях.

Для части сортамента из трубных марок сталей (X70, 13Г1С-У, 17Г1С-У, 22ГЮ, 09Г2ФБ и др.) доля пораженных полос такими дефектами, как «трещина», достигает 60% и более [2].

Для установления истинных причин образования дефекта «трещина» для трубных марок стали необходимо выполнить анализ основных технологических факторов, влияющих на её образование.

Сталеплавильный передел является первым технологическим фактором, влияющим на образование и дальнейшее развитие трещины при производстве. Одной из причин является стойкость конвертора (количество плавков после ремонта), часть других причин связана с недостатками в работе МНЛЗ: износ и механическая несоосность оборудования, неадекватная конусность и стойкость кристаллизатора, скорость разливки и т.д. Еще одними причинами образования сетчатых трещин являются усадочные, термические адгезионные напряжения, часть трещин образуется в зоне вторичного охлаждения в результате значительного термического удара и многократных фазовых превращений в определенных участках поверхностных слоев [3].

Помимо этого есть и другие причины, они связаны с особенностями химического состава разливаемых сталей. Например: такие микролегирующие элементы, как Nb, Mo, Ni, Cu, усиливают склонность стали к трещинообразованию [4], отмечена тенденция к увеличению трещин на единицу площади и их степени развития с увеличением содержания углерода в пределах от 0,07 до 0,20–0,21% [5], кроме того, увеличение массовой доли марганца также ведет к росту доли поверхностных дефектов. Однако добавление Ti в пределах 0,02–0,04% в ниобийсодержащие стали способствует снижению количества трещин [6,7].

Следующим этапом производства, влияющим на процесс трещинообразования, является огневая зачистка слябов. Она производится с целью ликвидации больших трещин с поверхности слябов. Однако этот способ не позволяет полностью решить проблему качества поверхности слябов, помимо этого некоторые ученые предполагают, что огневая зачистка в разы увеличивает размеры трещин вследствие температурного удара и оплавления металла при обработке. Этот процесс требует изучения.

Нагрев в методических печах является очередным этапом производства, влияющим на образование новых и развитие имеющихся (не удаленных от сталеплавильного передела) трещин. Согласно работе [8] режимы нагрева в печах являются неоптимальными как с точки зрения качества нагрева (градиент температур верха и низа сляба составляет около 120°C), так с точки зрения температурных напряжений. Особо опасными являются перепады напряжений в 42 и 54 мин с начала нагрева, поскольку они меняют свой знак в течение 6 мин. Кроме того, эти перепады напряжений возникают в тот момент, когда металл обладает малой пластичностью. Это приводит к тому, что количество и размеры трещин при последующей прокатке увеличиваются [9].

Итак, на верхней поверхности и особенно под поверхностью создаются условия для раскрытия трещин при действии напряжений растяжения их поверхностей. Отсутствие металлических связей с наружной стороны поверхностной трещины, безусловно, приводит к тому, что она окисляется и никогда поэтому не заварится при нагреве.

Другая картина наблюдается на нижней стороне сляба. Все трещины будут стремиться к смыканию берегов трещин при нагреве, вследствие сжимающих термических напряжений.

При горячей прокатке также существует ряд немаловажных факторов, влияющих на рассматриваемый дефект. Изучено, что трещина может образовываться в результате повреждений поверхности раската (как поверхностью валков, так и частицами окалины), а также из-за нарушения режимов обжаты в клетях и других механических факторов.

Помимо этого, на образование трещины влияют напряжения. Действующие напряжения в металле при горячей прокатке складываются из термических и деформирующих напряжений σ_T (сопротивление деформации). Наличие поверхностных и приповерхностных дефектов сляба приводит к концентрации действующих суммарных термических и механических напряжений в области этих дефектов.

Теория разрушения помогает спрогнозировать как образование новых (критерии разрушения), так и развитие уже имеющихся трещин (критерии прочности) в процессе пластической деформации.

В методиках по расчету напряжений за критическую величину, приводящую к разрушению металла, принимают напряжение, выражающееся через коэффициент интенсивности напряжений K , который по достижению критической величины K_c переходит от стабильного состояния к неста-

бильному (разрушению) [10–12]. Теоретические и практические результаты, полученные в рамках линейной механики разрушения, исходящие из того, что в реальном металле всегда есть несплошности, микротрещины, неметаллические включения и так далее [10–12], показали, что в характеристику материала должна входить не только величина напряжения, но и размер трещины. Было предложено [3] условие разрушения вида $K \leq K_C$. Показано, что зависимость между коэффициентом интенсивности напряжений K , напряжением σ , действующим в данной точке без учета наличия трещины, и характерным размером трещины l имеет вид:

$$K_{C1} = \sigma \sqrt{Ml},$$

где M – параметр, определяемый геометрией тела, формой трещины и видом напряженного состояния, а индекс I у величины K_C свидетельствуют о нагружении отрывом. Например, в плоском теле бесконечных размеров с круглой трещиной радиуса, расположенной перпендикулярно одноосному полю напряжений:

$$K_1 = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sigma \sqrt{l}.$$

В настоящее время наиболее известны критерии прочности, базирующиеся на разных исходных положениях, применяемых к условиям обработки материала с имеющимися трещинами. Типовой подход механики заключается во введении некоторых критериев разрушения, включающих характеристики напряженного состояния [3]. Такие, например, как критерий Кокрофта – Лэфома:

$$C = \int_0^{\bar{\varepsilon}} \frac{\sigma_{\max}}{\bar{\sigma}} d\bar{\varepsilon},$$

где σ_{\max} – максимальное главное растягивающее напряжение; $\bar{\sigma}$ – интенсивность напряжений; $\bar{\varepsilon}$ – интенсивность деформаций.

В условиях производства штрипса для трубопроводов на ШСГП имеют место быть все факторы, влияющие на появление и развитие трещин, такие как:

- дефекты сталеплавильного производства;
- дефекты, не удаленные при огневой зачистке;
- неравномерный нагрев в методических печах;
- режимы обжатий.

Изучение изменения напряжений в условиях больших пластических деформаций, высокой температуры и вида трещины, влияющих на образование и развитие трещин, представляет собой большой научный интерес и, как следствие, требует дальнейших исследований.

Список литературы

1. Скорохватов Н.Б., Глухов В.В., Смирнов В.С. // Прокатное производство. 2005. №8. С.43–48.

2. Салганик В.М., Песин А.М., Пустовойтов Д.О. // Изв. вузов. Черная металлургия. 2010. №3. С. 22–24.
3. Колбасин Н.Г., Зотов О.Г., Лукьянов А.А. Исследование причин формирования вязкого и хрупкого излома при испытаниях трубных сталей падающим грузом // Труды междунар. науч.-техн. конференции. СПб., 2009. С. 507–515.
4. Пустовойтов Д.О. Совершенствование широкополосной прокатки трубных сталей на основе моделирования поверхностных трещин непрерывнолитого сляба: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 2010.
5. Исаев О.Б., Кислица В.В., Емельянов В.В. // Прогрессивные толстолистовые стали для газонепроводных труб большого диаметра и металлоконструкций ответственного назначения // Сборник докладов междунар. науч.-техн. конф. «Азовсталь –2002». М.: Металлургиздат, 2004. С. 16–19.
6. Harada S. // ISIJ Int. 1990, vol. 30, pp. 310–316.
7. Harter M. // Open Hearth Proceedings. 1973, vol. 8, pp. 202–217.
8. Создание искусственных дефектов «плена» и «светлая полоса» на холоднокатаной листовой стали марки 08Ю / Н.И. Мельник, В.Л. Корнилов, А.А. Шишов, Е.А. Бурмистрова // Обработка сплошных и слоистых материалов. №35. Магнитогорск, 2008. С. 185–192.
9. Шубин И.Г., Бурмистрова Е.А. Исследование местоположения искусственно созданной трещин в процессе горячей прокатки в условиях ШСГП 2000 «ОАО ММК» // Обработка сплошных и слоистых материалов. №38. Магнитогорск, 2012. С. 29–33.
10. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. М.: Наука, 1974. 640 с.
11. Иванова В.С. и др. Усталость и хрупкость металлических материалов. М.: Наука, 1968. 180 с.
12. Изучение причин образования дефекта «плена» из-за неметаллических включений сляба на прокате / Е.П. Лазовский, С.Н. Ущакон, Д.В. Юрина и др. // Сталь. 2009. №10. С. 26–28.

УДК 674.812.2

Н.И. Шубина, Х.Я. Гиревая

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО ПОЛИМЕРНОГО СЫРЬЯ

Рассмотрена возможность применения отходов полимерных материалов для изготовления древесно-полимерных композитов. По результатам исследований предложен состав композиционного материала, включающего в качестве связующего вторичные полиэтилен, полипропилен, полиэтилентерефталат в равном соотношении, а в качестве наполнителя – опилки.

Вторичная переработка полимеров является одним из приоритетных направлений с экономической точки зрения и охраны окружающей среды. Существуют различные способы утилизации полимерных отходов: рециклинг, сжигание; пиролиз; захоронение. Получение композиционных материалов различного назначения на основе вторичного полимерного сырья является одним из видов рециклинга [1]. К таким композитам можно отне-

сти и древесно-полимерные композиционные материалы (ДПК), которые производятся на основе отходов полимерной и деревообрабатывающей промышленности. ДПК предназначен для замены древесностружечных плит (ДСП), содержащих вредные для здоровья человека формальдегиды, используемые при производстве плит в качестве связующего. ДПК не содержит канцерогенных соединений, поэтому композит более благоприятен с точки зрения воздействия на человека и окружающую среду, а также способствует ресурсосбережению и экономии средств на сырье, так как для его производства возможно использование вторичных полимеров [2].

Для изготовления опытных образцов ДПК использовалась лабораторная установка, состоящая из нагревательной печи, представляющей собой вертикальную цилиндрическую шахту диаметром 27 мм, обогреваемую нагревательной спиралью, и специально изготовленной лабораторной пресс-формы с камерой, вмещающей до 12 гр исследуемого материала. Изменение температуры в камере печи производится с помощью регулировки подаваемого напряжения на нагревательную спираль, измерение температуры производится термометром.

В качестве исходных материалов использовались следующие вторичные полимеры: полиэтилен высокого давления (ВПЭВД), полиэтилен низкого давления (ВПЭНД), полипропилен (ВПП), полиэтилентерефталат (ВПЭТФ). В качестве древесного наполнителя применялась хвойная целлюлоза трех фракций: 1, 2 и 3 мм. Соотношение наполнителя и связующего вещества во всех образцах одинаково 1:1. В результате были получены опытные образцы следующих размеров: диаметр 27 мм, толщина 4–4,5 мм.

Для сравнения характеристик опытных образцов с древесностружечными плитами (ДСП) были определены физические свойства образцов по методикам в соответствии с ГОСТ 10634-88 «Плиты древесностружечные. Методы определения физических свойств» [3].

Перечень исследуемых образцов: 1 – ВПЭВД + опилки (3 мм); 2 – ВПП + опилки (3 мм); 3 – ВПЭВД + опилки (2 мм); 4 – ВПП + опилки (2 мм); 5 – ВПЭНД + опилки (2 мм); 6 – ВПЭНД + опилки (3 мм); 7 – ВПЭВД + опилки (1 мм); 8 – ВПП + опилки (1 мм); 9 – ВПЭНД + опилки (1 мм).

Все полученные образцы имеют гладкую и ровную поверхность. Образцы, в состав которых входят опилки 2 и 3 мм, имеют лучший внешний вид, по сравнению с образцами, содержащими опилки фракцией 1 мм.

Для всех образцов были измерены плотности и определены показатели влажности, водопоглощения.

Полученные образцы ДПК удовлетворяют требованиям ГОСТ 10632-2007 «Плиты древесностружечные. Технические условия» [4], согласно которому влажность ДСП не должна превышать 5%; водопоглощение – не более 12%. Все полученные образцы имеют влажность от 0,48 до 2,32%, что значительно ниже допустимого предела. Водопоглощение образцов ниже в 1,2–3 раза, чем у ДСП.

Таблица 1

Результаты определения физических свойств образцов

Номер образца	Влажность, %	Водопоглощение, %	Плотность, кг/м ³
1	2,04	7,94	1683
2	2,33	6,01	1665
3	2,02	8,68	1750
4	1,03	3,85	1706
5	0,51	4,17	1695
6	0,73	10,08	1807
7	0,56	4,59	1665
8	0,52	4,08	1700
9	0,48	9,15	1756

Для опытных образцов были определены следующие характеристики: стойкость по отношению к кислотам (20% раствор H₂SO₄) и щелочам (20% раствор KOH), воспламеняемость и изменение pH среды. У всех образцов, выдержанных в кислоте и щелочи в течение 2 ч, не изменились размеры и жесткость, а набухание не превысило 15%.

Воспламеняемость полученных образцов ДПК определяли над открытым пламенем спиртовки (800°C) до воспламенения образца. Среднее значение этого показателя для всех образцов составило 25 с, в то время как ДСП воспламеняется уже при температуре 270°C, а спонтанное воспламенение возникает при превышении температуры в 400°C.

Определение pH среды проводилось с помощью иономера АНИОН 4100. pH водной среды после двухчасовой выдержки образцов ДПК в ней не изменилось.

В ходе исследования были проведены испытания опытных образцов №1–6 для определения показателей механических свойств, таких как предел прочности при растяжении, твердость и удельное сопротивление выдергиванию шурупов. Полученные данные представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты определения показателей механических свойств образцов

Номер образца	Удельное сопротивление выдергиванию шурупов, Н/мм	Предел прочности при растяжении, МПа	Твердость по Виккерсу, МПа
1	54,75	0,51	20,000
2	186,75	1,26	46,500
3	62,25	0,50	21,571
4	161,25	1,30	70,636
5	180,25	0,90	44,333
6	133,5	1,02	50,667

У образцов ДПК удельное сопротивление выдергиванию шурупов находится в пределах 54,75–186,75 Н/мм; предел прочности при растяжении – 0,5–1,3 МПа; твердость 20–70,64 МПа. Свойства полученных опытных образцов всех составов соответствуют требованиям ГОСТ.

Наиболее распространенными полимерами отходами являются ПП, ПЭ, ПЭТФ. Для утилизации данных полимерных отходов предложен композиционный материал, включающий в себя смесь трех полимеров. В качестве связующего были выбраны следующие компоненты: ВПП, ВПЭНД и ВПЭТФ в равном соотношении (0,33 : 0,33 : 0,33 г), а в качестве наполнителя – опилки 3 мм, т.к. образцы композитов с данными составляющими показали наилучшие механические и физические свойства.

Результаты по определению показателей полученного композита представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты определения показателей механических свойств образца состава ВПЭНД + ВПП + ВПЭТФ +опилки (3 мм)

Влажность, %	Водопоглощение, %	Плотность, кг/м ³	Удельное сопротивление выдергиванию шурупов, Н/мм	Предел прочности при растяжении, МПа	Твердость по Виккерсу, МПа
0,38	10,91	1852	126,75	1,05	44,3

Образец ДПК, содержащий ПЭ, ПП, ПЭТФ, удовлетворяет всем требованиям ГОСТ 10632-2007 «Плиты древесностружечные. Технические условия» [4]. Значение плотности образца соответствуют показателям ДСП высокой плотности.

Таким образом, полученные опытные образцы превосходят по своим физическим и механическим свойствам ДСП, поэтому целесообразно в дальнейшем исследовать свойства образца, а также построить математическую модель для определения наиболее важных факторов, влияющих на характеристики материала.

Список литературы

1. Использование продуктов химической деструкции ПЭТ для антикоррозионного покрытия металлов / Куликова Т.М., Гиревая Х.Я., Шубина О.И., Шубина Н.И. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: сб. трудов 68-й межрегион. науч.-техн. конференции. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. С. 87–90.
2. Гиревая Х.Я., Шубина Н.И. Утилизация полимерных отходов путем получения древесно-полимерного композиционного материала и исследование его свойств // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М.Колокольцева. Вып. 12. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. С.156–161.
3. ГОСТ 10634-88. Плиты древесностружечные. Методы определения физических свойств. Введ. 01.05.91. М.: Изд-во стандартов, 1990. 6 с.
4. ГОСТ 10632-2007. Плиты древесностружечные. Технические условия. Введ. 01.01.09. М.: Изд-во стандартов, 2007. 12 с.

О.А. Мишурина, К.А. Тагаева

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО СОСТАВА ПО ВОЛОКНУ НА ВЛАГОПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ИСХОДНОГО СЫРЬЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КАРТОННЫХ ВТУЛОК

Дана оценка качеству исходного сырья (картонов) при производстве картонных втулок по параметрам прочности и впитывающей способности. Исследована эффективность процесса адгезии склеиваемых образцов картона и экономичности расхода клеевых составов в зависимости от впитывающей способность волокнистого сырья и вязкости клея.

Изготовление картонных втулок является одним из успешно развивающихся направлений картонной промышленности. Картонная втулка – популярный расходный материал в крупных производственных компаниях. Упаковка рулонных материалов на картонную втулку – это удобно и экономично. Они не деформируются при транспортировке и компактно размещаются на складах, т.к. могут храниться в вертикальном положении.

Картонная втулка должна обладать высокими прочностными характеристиками и выдерживать большую нагрузку при размотке рулонных материалов на высокоскоростных машинах. Прочность втулок зависит от следующих факторов: геометрических размеров (диаметра, высоты, толщины стенок), влагопрочностных показателей исходного картона, а также реологических свойств клеевых составов.

Целью работы являлся анализ качества исходного волокнистого сырья и его влияние на впитывающие и прочностные свойства картонов, используемых в производстве картонных втулок. Объекты исследования – картоны различных марок, клеевые составы различной вязкости и картонные втулки, изготавливаемые на предприятии ООО «Фабрика картонной продукции».

Прочностные свойства картонных втулок, а также расход клея и эффективность его адгезии с исходным волокнистым материалом напрямую зависят от впитывающей способности исходных картонов. Данный показатель зависит, прежде всего, от структуры картона-основы, которая в первую очередь обусловлена композицией по волокну, а также количеством проклеивающих и наполняющих веществ, используемых в технологии изготовления картона [1].

При нанесении клеевых покрытий из водных растворов или дисперсий волокнистая основа должна обладать определенной влагостойкостью. Это качество обеспечивается введением проклеивающих веществ в композицию картона-основы. Введение проклеивающих веществ в картон способствует склеиванию растительные волокон и тем самым снижению впитывающей способности основы за счет заполнения пустотелых кап-

пиляров клеевыми растворами, дающими сплошную пленку на поверхности пропитываемого материала. Поэтому в исследуемой работе учитывалась величина проклейки используемых картонов [2].

Таким образом, для исследования влияния впитываемости картонов на прочностные свойства картонных втулок, а также для оптимизации технологического процесса их производства в работе были исследованы следующие показатели качества исходного сырья: толщина, масса, композиционный состав по волокну, зольность, степень проклейки картона, капиллярная впитываемость, поверхностная впитываемость воды при одностороннем смачивании, влажность, разрушающее усилие, разрушающая длина, предел прочности при разрушении.

Сравнительные показатели влияния данных параметров сырья на впитывающую способность и прочностные характеристики картонов представлены в таблице.

Показатели прочности и впитывающей способности исходных картонов при производстве картонных втулок

Наименование показателя	КГ-06	КТ-06	КТ-07	С-4	В0-05	В1-06	В1-07
1. Композиционный состав по волокну исследуемого образца:							
целлюлоза хвойная	19	15	18	30	21	20	22
целлюлоза лиственная	35	28	40	25	32	32	32
древесная масса	34	40	34	36	36	34	22
макулатура	12	17	8	9	11	14	24
2. Зольность, г	3,808	4,209	4,732	4,739	3,500	3,943	6,869
3. Степень проклейки картона, с/мм	89,96	112,67	100,47	50,30	96,00	53,30	30,50
4. Капиллярная впитываемость, мм	2,25	1,2	1,85	2,35	2,0	2,85	3,1
5. Поверхностная впитываемость воды при одностороннем смачивании ($K_{об60}$), г/м ²	139,5	70	75,5	197,9	154,9	207,9	441,5
6. Разрушающее усилие, Н	343,14	167,54	149,64	507,19	351,66	146,31	139,22
7. Разрушающая длина, км	5,36	2,114	1,861	1,594	1,278	2,074	2,200
8. Предел прочности, МПа	30,72	19,36	14,25	55,61	44,66	17,37	12,94
9. Предел прочности при расслаивании, кПа, с клеем вязкостью:							
100	208,15	217,68	261,97	154,20	198,66	167,50	226,55
140	208,90	219,54	284,68	212,51	226,52	191,91	308,30
200	304,00	228,51	299,78	262,92	231,05	231,72	335,88
240	356,42	245,83	313,39	275,50	262,27	238,81	339,25
300	359,91	249,49	346,04	296,79	268,83	250,15	355,49
350	391,53	258,32	361,26	315,69	286,28	271,73	361,71
400	410,00	262,06	388,68	332,33	314,58	122,43	409,61
450	429,48	292,84	437,91	369,17	319,04	368,20	425,16

Окончание таблицы

Наименование показателя	КГ-06	КТ-06	КТ-07	С-4	В0-05	В1-06	В1-07
10. Сопротивление расслаиванию картона, Н, с клеем вязкостью:							
100	117,61	122,99	148,02	87,13	112,25	94,64	128,00
140	118,03	124,04	160,85	148,55	130,55	130,92	191,68
200	171,76	129,11	169,38	148,55	130,55	130,92	191,48
240	201,38	138,90	177,07	155,66	148,19	134,93	189,78
300	203,35	140,96	195,51	167,69	151,89	141,34	200,86
350	221,22	145,95	204,11	178,37	161,25	153,53	204,37
400	231,65	148,07	219,61	187,77	177,74	182,18	231,43
450	242,66	165,46	247,42	208,58	180,26	208,04	240,22

Анализ результатов, представленных в таблице, показал:

1. Наблюдается влияние состава по волокну на впитывающую способность картонов. Так, при низкой проклейке картона с увеличением процентного содержания макулатурной массы его впитывающая способность возрастает. Это связано с тем, что волокна макулатурной массы по сравнению с первичными волокнами короче и менее способны к образованию межволоконных связей, кроме того, они менее эластичны и меньше способны набухать. Все это обуславливает повышение пористости картонов.

2. Прослеживается прямолинейная зависимость влияния степени проклейки картона на его впитывающую способность – с увеличением значений данного показателя впитывающая способность картона (капиллярная и поверхностная впитываемость) снижается. Это объясняется тем, что при введении проклеивающих веществ в исходные волокнистые материалы увеличивается склеивание растительных волокон и тем самым снижается впитывающая способность основы за счет заполнения пустотелых капилляров клеевыми растворами, дающими сплошную пленку на поверхности пропитываемого материала.

Для оценки влияния качества исходных материалов на расход клея и эффективности процесса адгезии в работе рассматривали влияние вязкости клея на показатель сопротивления расслаивания картона. Исследования проводили на образцах двух склеенных картонов (для каждой марки картона) растворами клея ПВА различной вязкости. Данный показатель не прописан в нормативной документации и не относится к определяющим параметрам при выборе качества исходного сырья для получения картонных втулок. Однако по полученным результатам можно проследить эффективность процесса адгезии между склеиваемыми образцами картона.

Анализ полученных результатов показал, что максимальная адгезия между склеиваемыми образцами картона наблюдается у образцов КГ-06, В1-05 и КТ-07. Однако, сопоставляя значения впитывающей способности указанных образцов картона, следует отметить, что показатель впитываемости воды при одностороннем смачивании образца В1-07 в несколько раз превышает нормы по ТУ. Поэтому при использовании данных марок

картона в качестве исходного сырья в технологии изготовления картонных втулок значительно увеличивается расход клеевых составов, что не целесообразно с экономической точки зрения. Оценка влияния вязкости используемого по технологии клея ПВА показала, что с увеличением вязкости клея эффективность адгезии между образцами склеиваемых картонов возрастает. Однако характер увеличения данных показателей неоднозначный. Так, наблюдается скачок полученных величин, начиная с величины вязкости клея 200 с. И в промежутке от 200 с и выше значения параметров эффективности адгезии изменяются незначительно и более равномерно. Поэтому исходя из экономической целесообразности осуществления технологического процесса, оптимальным диапазоном величин вязкости клеевых составов ПВА будет интервал от 200 до 250 с.

Таким образом, оценивая качество исходного сырья по параметрам прочности и впитывающей способности картонов, эффективности адгезии склеиваемых образцов картона и экономичности расхода клеевых составов, следует заключить, что оптимальными параметрами характеризуются картоны марки КГ-06 (ОАО Сионимский картонно-бумажный завод «Альбертин», республика Беларусь) и КТ-07 (ЗАО «Пролетарий», г. Сураж).

Список литературы

1. Жвирблите А.К., Жданов Н.Ф. Химия древесины и целлюлозы: учеб. пособие. Свердловск, 1985. 96 с.
2. Фляте Д.М. Свойства бумаги. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Лесная промышленность, 1986. 680 с.

УДК 655.535

Л.А. Бодьян, Н.А. Грачева

РАЗРАБОТКА ДИЗАЙНА ОБЛОЖКИ КНИГИ

Рассмотрены особенности работы над дизайном обложки книги, этапы разработки дизайна, представлены отдельные варианты дизайна, дано обоснование композиционного решения.

Важность и необходимость работы над дизайном книги неоспоримы. Самый значительный и графичный элемент дизайна книги - это, конечно, обложка (суперобложка), ее дизайн должен комплексно выражать идею, композиционные решения всей книги, над ней необходимо работать более обдуманно и детально.

Обложка (суперобложка) должна нести не только защитную функцию, но и информативную. Внешний вид должен отражать главную идею, демонстрировать основное содержание. В информационном общении с его огромными скоростями грамотный дизайн обложки может и должен способствовать максимально быстрому донесению необходимой

информации до потребителя, сократив, тем самым, путь и время его прохождения между автором произведения, производителем продукции (издательством) и потенциальным потребителем. То есть обложка должна обладать еще и рекламной функцией. Она должна нести и эстетическую функцию. Характер визуальной информации будет зависеть от целевой аудитории, содержания, стиля, назначения произведения и т.д. Сравнительный анализ определений, назначений упаковки, обложки, суперобложки позволил выделить сходство их функций и необходимость профессионального подхода к разработке их дизайна.

С появлением электронных книг важность разработки дизайна обложки, на наш взгляд, даже возросла. Это связано с тем, что прежде чем принять решение о приобретении электронной книги, у потребителя отсутствует первоначальная возможность пролистать ее. Профессиональный дизайн окажет свою роль, не повлияв в этом случае на себестоимость продукции.

Ключевыми моментами при работе над дизайном являются: понимание идейных, стилевых и индивидуальных особенностей; поиск соответствующего композиционного и художественного оформления, проработка изобразительных образов, цветовое и шрифтовое решение, соединение в единое художественное целое всех ее элементов, а также верстка с учетом требований к допечатной подготовке и особенностей печати. Как и в любой сфере дизайна, создавая дизайн книги, обложки (суперобложки), нужно опираться на классические законы композиции: цельность и единство, равновесие, соподчинение и т.д. Композиция делает произведение цельным, выразительным и гармоничным, создает единое композиционное пространство в соответствии с определенной идеей.

В процессе изучения дисциплин специализации, связанных с дизайном, студентами выполняется ряд творческих заданий, среди которых им предлагается выполнить дизайн обложек (суперобложек) разного характера. Этапы работы над дизайн-проектом рассмотрим на примере разработки дизайна обложки монографии «Формирование и освоение техногенных георесурсов».

Практическое выполнение задания предполагает решение следующих задач: литературный обзор; анализ проектной ситуации; анализ аналогов продукции; выявление проблемы; формулировка проектной концепции, требований к предмету проектирования; разработка поисковых вариантов дизайна обложки; выбор, проработка и обоснование итогового варианта дизайна.

В издательской практике применяются мягкие обложки, твердые переплеты, суперобложки. Указанная монография издается в мягкой обложке, ее размеры (две стороны, корешок) и дополнительные требования уточнены с учетом формата и количества страниц. Анализируя проектную ситуацию, определились не только с размерами, но и ознакомились с тематикой, содержанием, что повлияло на идейное решение, выбор художественных образов, цветовое и шрифтовое решение.

Особое внимание уделяется этапу анализа аналогов по теме исследования. Монография относится к технической литературе горного произ-

водства. В результате анализа обложек книг подобной тематики выявлены характерные достоинства и недостатки, что позволило учитывать их при работе над дизайн-проектом.

Формулировка проектной концепции. Обложку необходимо сделать яркой, информативной и читаемой, обеспечить возможность выполнения ею всех выделенных нами ранее функций. Для этого обложка должна отвечать следующему комплексу требований: функциональные (обеспечение сохранности книги, продолжительное использование); эргономические (простота в использовании; возможно наличие клапанов в конструкции суперобложки для простоты крепления); эстетические (выделение издания среди аналогов; привлекательность; информативность; читаемость информации; выбор цветового решения и характера изображений должен соответствовать теме издания; композиционная проработка и целостность образа, использование модульной системы верстки); технологические (соблюдение требований по формату и отступам: формат (A5, A4); печатается небольшими тиражами в типографиях; поля – 0,5, 1 и 1,5 см сверху, справа и снизу; технологичность (возможность воспроизведения всех элементов дизайна на лицевой стороне, корешке и оборотной стороне достаточного качества); дизайн и допечатная подготовка должны обеспечивать наиболее полное соответствие основных параметров при печати).

Кроме того, монография издавалась впервые, дизайн обложки прежде не разрабатывался, традиционно было не принято уделять внимания дизайну обложки. Фирменный стиль кафедры авторов монографии не разработан, что предполагает большую свободу при работе над дизайном.

Далее разрабатывались варианты дизайна обложки, на рисунке представлены некоторые из них. Использовались графические редакторы: Adobe Photoshop, CorelDRAW. Наиболее оптимальной является обложка, представленная на рисунке, в. Однозначно понимается тематика. Выбор изображений наиболее полно и точно выражает идею и основное содержание монографии. Грамотно решено взаимное расположение и выравнивание текстовых блоков, наиболее значимый из них расположен в соответствии с правилом золотого сечения. Тест достаточно читаемый. Основополагающий принцип композиции – симметрия. Композиционное решение целостно, выстроено по модульной системе верстки, учтены все технологические требования. Цветовая гамма соответствует характеру предлагаемой информации, цвета более спокойны и сочетаемы. При допечатной подготовке учтены особенности печати. Дизайн гармоничен, привлекает внимание. Все это выделит продукт на фоне всех остальных, это издание запомнит потребитель. Выполнен сформулированный комплекс потребительских требований к предмету проектирования.

Была рассмотрена возможность использования разработанного дизайна не только для оформления обложки, а печатать дополнительную упаковку – суперобложку. В этом случае суперобложку можно печатать меньшим тиражом, а для обложки использовать бюджетный вариант дизайна, без применения цветной печати. Суперобложка может входить в комплект с монографией не для всего тиража, что отразится на себестоимости моно-

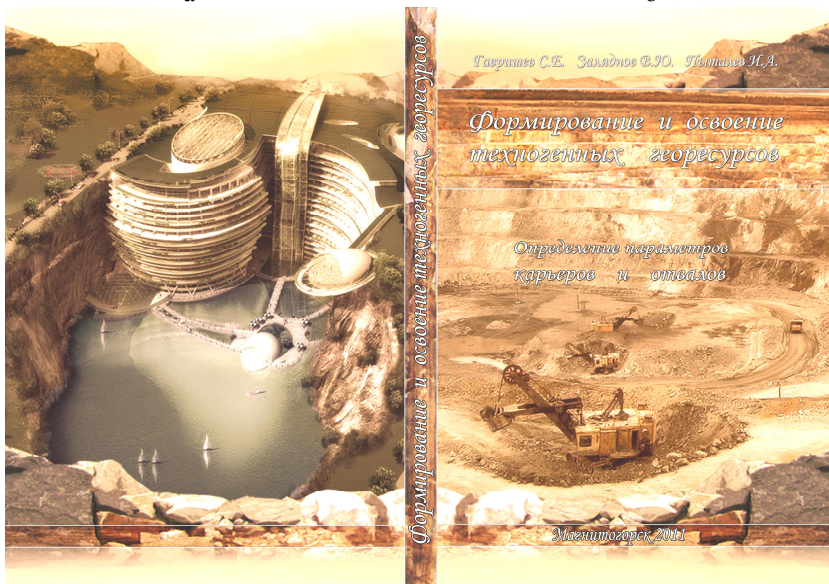
графии и цене издания. Размеры суперобложки были рассчитаны по специальным формулам, с учетом коэффициентов и припусков.



а



б



в

Варианты дизайна обложки

Дизайн был одобрен заказчиком – авторским коллективом, монография «Формирование и освоение техногенных георесурсов» вышла в издательском центре Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И.Носова.

Список литературы

1. Бодьян Л.А., Медяник Н.Л., Савочкина Л.В. Основы теории цвета. Физиологические и психологические основы цветосприятия: учеб. пособие. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. 92 с.
2. Бодьян Л.А., Бербер С.С. Актуальные вопросы в области нанесения качественной печати на упаковочные материалы и упаковку // Химия. Технология. Качество: сб. материалов междунар. заочной науч.-техн. конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С.70–74.
3. Бодьян Л.А., Кремнева А.В. Цветовые измерения как один из этапов обеспечения качественной печати на упаковочных материалах и упаковке // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70 межрегион. науч.-техн. конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С.206–209.

УДК 621.771

В.Л. Стеблянко, А.П. Пономарев

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ КАЧЕСТВА ПОЛУЧАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ

Рассмотрена возможность применения структурно-кинетического анализа процессов обработки материалов давлением для оптимизации технологических режимов и качества готовой продукции. Представлены результаты экспериментов по определению критической скорости деформации при пластическом растяжении полимерных плёнок.

Во многих процессах обработки материалов давлением качество готовой продукции обуславливается как выбором технологических режимов, так и теми процессами, которые протекают в материале в ходе его обработки. Неучёт этих особенностей может стать причиной получения дефектной продукции. После завершения обработки могут развиваться во времени такие процессы, как коробление, разрушение материала и др. К процессам, протекающим в материале в ходе его обработки, относятся процессы релаксации напряжений [1].

Важным технологическим фактором является скорость деформации, определяемая степенью деформации и временем технологического цикла.

Вместе с тем, происходящий в материале процесс пластической аккомодации имеет свою собственную скорость самопроизвольного снижения внутренних напряжений, которая определяется природой и химическим составом обрабатываемого материала.

Естественно, если время технологической обработки больше времени пластической аккомодации материала, то в этом случае будет получена продукция без остаточных напряжений. Однако, если время, необходимое на релаксацию напряжений, больше, чем время технологической обработки, то в материале сохранятся остаточные напряжения, которые станут причиной указанных выше негативных явлений. Например, при получении слоистых композиционных материалов (биметаллов) способом сварки в твёрдой фазе горячей прокаткой вследствие остаточных напряжений, возникающих в разнородных компонентах, может иметь место разрушение связи между слоями. В производстве различных изделий из полимеров методом термоформования остаточные внутренние напряжения могут стать причиной возникновения микротрещин, длительной усадки изделия. Следовательно, в тех случаях, когда нельзя полностью избежать остаточных напряжений, необходимо стремиться к тому, чтобы их уровень не превышал заданного значения.

Таким образом, соотношение скоростей деформации и пластической аккомодации является условием того, что процесс завершится либо полностью без остаточных напряжений, либо с остаточными напряжениями определённого уровня. Отсюда вытекает задача определения такой скорости деформации, которая позволила бы достичь уровня остаточных напряжений, не превышающего безопасного значения.

Движущей силой процесса аккомодации являются внутренние напряжения в материале. Повышение интенсивности внутренних напряжений снижает энергию активации процесса пластической аккомодации.

Время аккомодации уменьшается с ростом скорости деформации (рис. 1). Скорость деформации, обусловленная технологическим режимом обработки, определяется как скоростью прохождения материала через зону обработки (очаг деформации), так и размерами этой зоны. В свою очередь, скорость прохождения материала через очаг деформации определяет производительность агрегата, а параметры очага деформации определяются конструктивными размерами оборудования.

Таким образом, и производительность, и конструктивные особенности, и свойства материала связаны в единое целое, что позволяет для конкретных условий производства комплексно подойти к процессу обработки и оптимизировать его с целью обеспечения требуемого качества готовой продукции при требуемом уровне производительности процесса [2].

Окончательно цель исследования формулируется следующим образом: установление оптимальных значений скоростного и временного режимов технологического процесса для обеспечения требуемой производительности и изготовления бездефектной продукции.

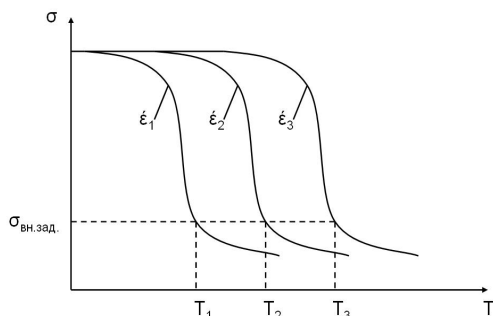


Рис. 1. Релаксация внутренних напряжений (σ) во времени (T) при различных скоростях деформации ($\dot{\epsilon}_1 > \dot{\epsilon}_2 > \dot{\epsilon}_3$)

Аналитическое определение времени релаксации материала до напряжений заданного уровня при различных температурах, степенях и скоростях деформации является весьма сложной задачей, так как в настоящее время отсутствует достаточно полная физическая теория процессов релаксации, позволяющая решать подобные задачи. Поэтому наиболее надёжным является экспериментальный метод [3].

С целью проверки кинетического условия было проведено экспериментальное исследование по пластическому растяжению полимерного материала. В качестве модельного материала для проведения исследования использовали биосориентированную полипропиленовую плёнку. Получили зависимости времени деформации и времени релаксации от скорости деформации при заданной степени деформации. Испытания проводили при следующих скоростях деформации: 0,002, 0,01, 0,02, 0,1 с^{-1} и степенях деформации, равных 20% (рис. 2), 30% (рис. 3), 40% (рис. 4) и 50% (рис. 5). В качестве заданного значения остаточных напряжений ($\sigma_{\text{вн.зад.}}$) было принято 0,6 от предела прочности материала ($\sigma_{\text{в}}$).

Степень деформации - 20 %

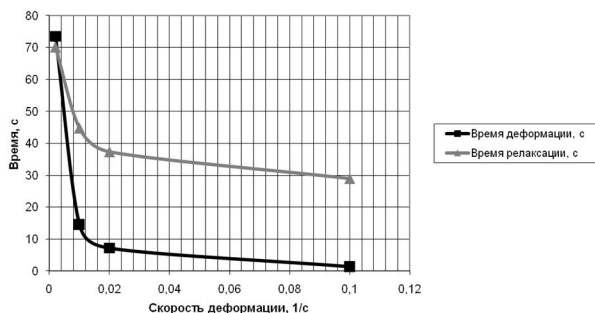


Рис. 2. Зависимость времени деформации и времени релаксации от скорости деформации при заданной степени деформации 20 %

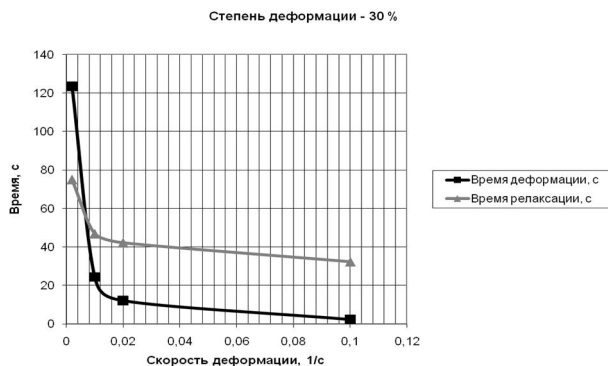


Рис. 3. Зависимость времени деформации и времени релаксации от скорости деформации при заданной степени деформации 30 %

Степень деформации - 40 %

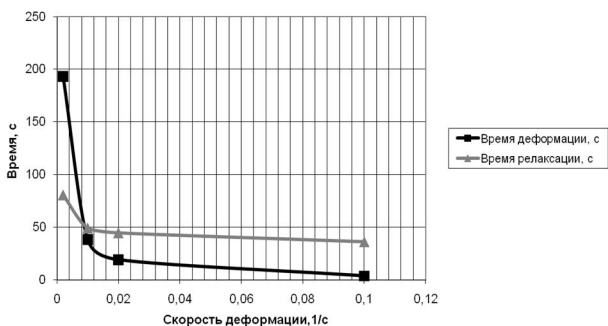


Рис. 4. Зависимость времени деформации и времени релаксации от скорости деформации при заданной степени деформации 40 %

Степень деформации - 50 %

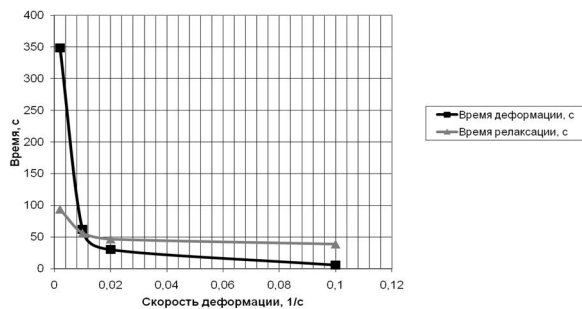


Рис. 5. Зависимость времени деформации и времени релаксации от скорости деформации при заданной степени деформации 50%

По результатам испытаний было установлено изменение критической скорости деформации, превышение которой приведёт к получению продукции с остаточными напряжениями больше заданного уровня. Большой степени деформации соответствовало большее значение критической скорости (рис. 6).

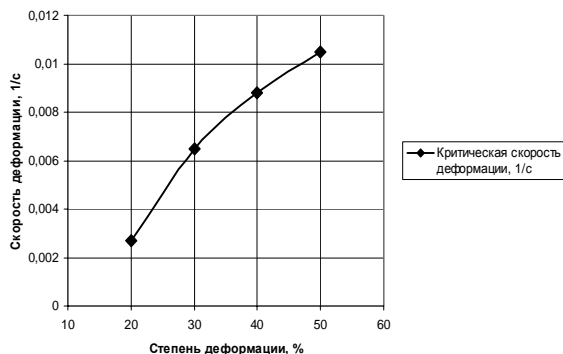


Рис. 6. Зависимость критической скорости деформации от степени деформации

Данный подход применим для многих технологических процессов обработки давлением как металлических, так и неметаллических материалов.

Список литературы

1. Стебляно В.Л., Медяник Н.Л. Структурно-кинетический анализ процессов обработки давлением однородных и неоднородных материалов // Химия. Технология. Качество. Состояние, проблемы и перспективы развития: межвуз. сб. науч. трудов. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И.Носова, 2005. С. 35–39.
2. Стебляно В.Л., Пономарев А.П. Оптимизация технологических процессов обработки материалов давлением на основе структурно-кинетического анализа // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: межрегион. сб. науч. трудов. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. С. 265–269.
3. Пономарев А.П. Применение структурно-кинетического анализа для процессов обработки материалов давлением // Молодёжь. Наука. Будущее: сб. науч. трудов студ.ов / под ред. С.В. Пыхтуновой. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2009. С. 10–12.

А.Н. Завалищин, Д.А. Горленко, К.Н. Вдовин

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТПУСКА НА СТРУКТУРНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ В ИНДЕФИНИТНОМ ЧУГУНЕ

Исследовано влияние температуры отпуска на количество остаточного аустенита, графита и вторичных карбидов в структуре комплексно легированного индефинитного чугуна.

Комплексно легированные хромом и никелем чугуны используются для изготовления деталей, работающих в условиях абразивного износа. После кристаллизации и охлаждения в отливках из этого чугуна возникают значительные термические напряжения, связанные с низкой теплопроводностью легированного чугуна и фазовым наклепом при $\gamma \rightarrow \alpha$ превращении, которые снимаются длительным отпуском при 450°C. При этом внутренние напряжения снимаются на 30–40%, что в дальнейшем препятствует выкрошке и разрушению изделия в процессе эксплуатации [1].

При нагреве и выдержке при температуре 450 °С происходит выделение графита и вторичных карбидов из остаточного аустенита, приводящее к обеднению твердого раствора углеродом, что снижает устойчивость остаточного аустенита к распаду. Последующее медленное охлаждение способствует превращению до 90% остаточного аустенита в бейнит с сохранением в общем объеме 3,0–3,5% остаточного аустенита. Высокое содержание графита, а также образование в структуре бейнита зачастую не удовлетворяет требованиям заказчика по твердости и, соответственно, износоустойкости. Повышение эксплуатационных свойств возможно достигнуть варьированием режима отпуска [2, 3].

Поэтому целью работы явилось исследование влияния температуры отпуска на количество остаточного аустенита, графита и вторичных карбидов в структуре комплексно легированного чугуна.

Исследования проводили на образцах индефинитного хромоникелевого чугуна, состав которого представлен в таблице.

Химический состав чугуна, %

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
3.05–3.20	0.70–1.00	0.75–0.95	0.015	0.045	1.50–1.85	4.00–4.60

После кристаллизации и охлаждения структура индефинитного чугуна в литом состоянии состоит из 57,6–60,4% крупноигольчатого мартенсита, эвтектических и вторичных карбидов – 26,0–28,0%, графита – 2,4–2,8% и 11,4–11,6% остаточного аустенита (рис. 1, а).

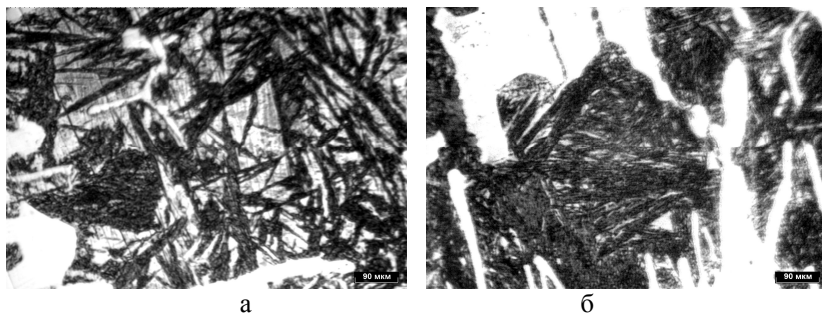


Рис. 1. Микроструктура индефинитного чугуна (x500): в литом состоянии (а); после отпуска при 450 °С (б)

При отпуске при 450°C выделяются графит и карбиды, а остаточный аустенит частично превращается в нижний бейнит (рис. 1, б). Рентгеноструктурным анализом установлено, что доля остаточного аустенита после отпуска при 450°C, по сравнению с чугуном в литом состоянии, снижается с 11,4 до 3,0–3,2% (рис. 2, б).

Количество эвтектических и вторичных карбидов увеличивается с 26,0 до 29,8%. Доля графита увеличивается с 2,6 до 3,7%. Плотность распределения включений графита увеличивается более чем в 2 раза, при уменьшении среднего размера со 125 до 82 мкм². Количество карбидов на 1 мм² увеличивается чуть меньше чем в 2 раза, а их средняя площадь уменьшается с 146 до 104 мкм².

Для изменения соотношения структурных составляющих и исключения превращения аустенита в бейнит исследовали отпуск при температуре 300°C, который, так же как и при 450°C, приводит к выделению вторичных карбидов и небольшого количества графита. Охлаждение после нагрева и выдержки при температуре 300°C предотвращает переход аустенита в бейнит, и аустенит частично превращается в мартенсит.

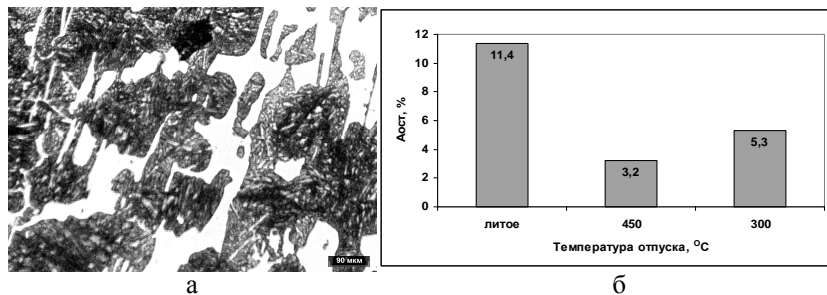


Рис. 2. Микроструктура индефинитного чугуна после отпуска при 300°C (а); количество остаточного аустенита в литом состоянии и после нескольких режимов отпуска (б)

После отпуска при температуре 300°C металлическая основа состоит из отпущенного мартенсита, полученного при кристаллизации, и мартенсита, образовавшегося при охлаждении после отпуска (рис. 2, а). Доля остаточного аустенита составляет 5,2–5,3% (см. рис. 2, б).

Количество графита увеличивается с 2,6 до 2,8% относительно литого состояния, что меньше на 0,9%, чем при отпуске при температуре 450°C. Объемная доля эвтектических и вторичных карбидов увеличивается в 1,5 раза с 26,0 до значения 39,6% соответственно, отпуск при температуре 450°C приводит к увеличению до 29,0–30,0% (рис. 3, а, б).

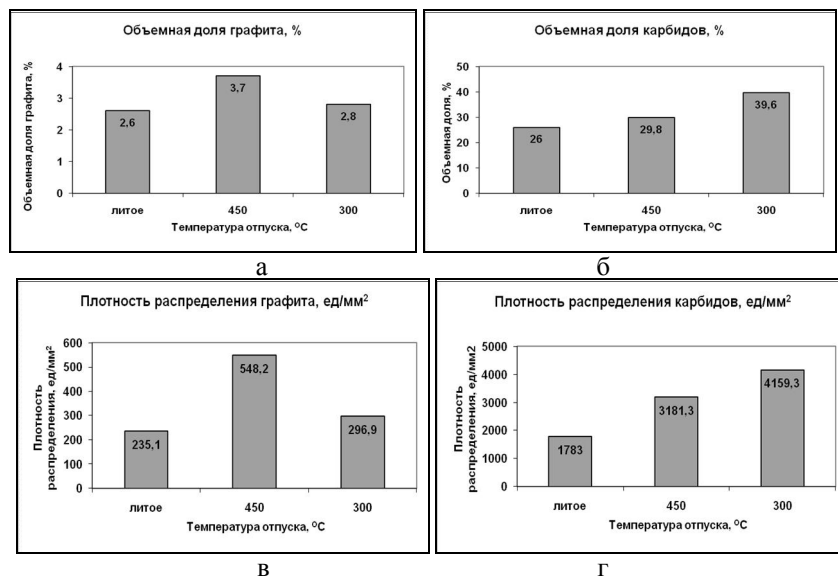


Рис. 3. Объемная доля и плотность распределения в литом состоянии и после нескольких режимов отпуска: а, в – графита; б, г – карбидов

Плотность распределения графита после отпуска при температуре 300°C увеличивается на 50–70 включений на 1 мм², после отпуска при температуре 450°C это увеличение составляет 300–330 включений на 1 мм² по сравнению с литым состоянием, средняя площадь графитных включений не меняется. Плотность распределения карбидов после отпуска при температуре 300°C увеличивается приблизительно на 2500 включений на 1 мм² относительно литой структуры, что на 1000 включений/мм² больше, чем при отпуске при 450°C (рис. 3, в, г)

Вывод. Снижение температуры отпуска с 450 до 300°C приводит к уменьшению на 30% плотности распределения вторичных карбидов и снижению доли графита с 3,7 до 2,8%. Увеличивается количество остаточного аустенита с 3,2 до 5,3%.

Список литературы

1. Гарбер М.Е., Леви Л.И., Рожкова Е.В., Цыпин И.И. // Металловедение и термическая обработка металлов. 1968. № 11. С.48–51.
2. Трейгер Е.И., Тилин В.Т., Гамов В.А., Пиховкин Н.И., Филь В.Л. // Сталь. 1985. № 8. С.77–79.
3. Производство чугунных отливок: учебник / Белов В.Д., Вдовин К.Н., Колокольцев В.М., Ковалевич Е.В., Тен Э., Ри Хосен, Ри Э.Х.; под ред. В.М Колокольцева и Ри Хосена. 2-е изд. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им Г.И. Носова, 2011. 521 с.

УДК 621.77

С.В. Зотов, М.А. Зюзина, А.Ф. Мустафина

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВА АВТОКОМПОНЕНТОВ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Проанализированы имеющиеся способы формования геометрии фрикционных металлокерамических накладок в тормозных механизмах и механизмах трансмиссии автомобилей, а также предложен наиболее перспективный метод формования геометрии фрикционных металлокерамических накладок прокаткой порошковой смеси.

Объектом рассмотрения данной работы являются способы формования фрикционных металлокерамических накладок, изготавливаемых методом порошковой металлургии, используемые в тормозных механизмах и механизмах трансмиссии автомобилей.

Целью данной работы является анализ наиболее распространенных методов изготовления данных элементов тормозных механизмов и материалов, на основе которых они изготавливаются, а также предложение наиболее перспективной технологии формования фрикционных накладок.

Среди большого разнообразия композиционных материалов, получаемых методом порошковой металлургии, особое место занимают металлокерамические фрикционные материалы, обладающие стабильно высокими эксплуатационными показателями. Металлокерамические материалы активно используются в авиапромышленности, машиностроении, сельском хозяйстве, горно- и нефтедобывающих отраслях, железнодорожном транспорте и др.

В табл. 1 приведены значения основных физико-механических свойств некоторых наиболее распространенных материалов, использующихся для производства фрикционных изделий.

В настоящее время существует множество способов производства фрикционных накладок и дисков (прессование, напыление, свободное насыпание и другие). В работе проведен анализ четырех основных спосо-

бов формирования геометрии фрикционных накладок металлокерамическими порошковыми сплавами. Последовательность технологического процесса изготовления приведена на рисунке.

Таблица 1

Физико-механические свойства основных фрикционных материалов

Показатели	Чугун	Полимерные фрикционные материалы с различными наполнителями	Металло-керамика
Твердость поверхности НВ, МПа	187–241	220–270	250–280
Плотность ρ , кг/м ³	7,1–7,3	1–2,3	6–6,2
Коэффициент трения μ	0,15–0,18	0,38–0,53	0,17–0,19
Допустимая температура Т, °С	150–300	200–800	400–1200
Интенсивность изнашивания I, мкм/км	8–10	4–5	1–2
Теплопроводность в интервале 20–500°С, Вт/м*°С	42–60	35–60	40–42
Срок службы, моточасов	6000–7000	5000–6000	9000–1000
Уровень шума, дБ	10–12	5–6	8–10



Последовательность технологического процесса изготовления фрикционного диска разными способами

Проведенный анализ позволил выделить основные недостатки рассмотренных выше способов формования фрикционных накладок из порошковых материалов (табл. 2).

Таблица 2

Недостатки методов формования фрикционных накладок из порошковых материалов

Метод формования	Недостатки
Прессование	<ol style="list-style-type: none"> 1. Невысокая производительность (требуются высокие температуры и большие временные затраты). 2. Высокая трудоёмкость при сборке пакетов и механической обработке. 3. Невозможность изготовления крупногабаритных заготовок из-за пониженной прочности прессовок. 4. Большие затраты и трудоемкость при использовании профильных пуансонов и промежуточных прокладок для реализации системы маслоотводящих канавок на поверхности заготовки
Напыление	<ol style="list-style-type: none"> 1. Значительная пористость, неоднородность и хрупкость слоя. 2. Существенные потери металла при плавлении и распылении (неэффективность). 3. Вредность условий
Метод свободно насыпанного слоя	<ol style="list-style-type: none"> 1. Необходимость нанесения гальванопокрытия на стальную основу, что в промышленных условиях требует больших вложений. 2. Необходимость в значительных промышленных площадях, эффективных очистных сооружениях и дорогостоящих расходных материалах. 3. Повышенная экологическая опасность

Метод прокатки металлокерамических порошковых сплавов является наиболее перспективным по ряду показателей, при анализе его технологии получения были выявлены преимущества по сравнению с другими рассмотренными способами.

Преимущества метода прокатки порошковой шихты при формования фрикционных накладок следующие:

1. Высокая производительность при сравнительно низкой энергоёмкости процесса.
2. Сокращение трудоёмкости и числа технологических операций на 20–25%.
3. Снижение процента брака в 2 раза.
4. Возможность получения тонких с большой поверхностью заготовок (толщиной от 0,1 мм и шириной до 600 мм).
5. Изотропность свойств и равномерность плотности материала.
6. Существенное снижение затрат энергии и времени на прокатку.
7. Простота конструкции оборудования.
8. Возможность автоматизации процесса.

В табл. 3 представлен результат анализа доли брака при производстве тормозных накладок базовым способом формования – прессование и перспективным – прокатка. По данным таблицы видно, что при изменении технологии производства произойдёт сокращение доли брака.

Таблица 3

Доля брака при производстве тормозных накладок

Метод формования	Тип брака	Причины возникновения брака	% брака
Прессование	Поперечные и диагональные трещины	Окисление и наклёп частиц	4–5
		Высокие давления прессования	
		Плохое качество смешивания или использование химически неоднородного материала	
		Слишком медленное или слишком быстрое выпрессовывание изделия из матрицы пресс-формы	
		Неточное дозирование порошка	
		Неудовлетворительное качество рабочей поверхности матрицы	
Прокатка	Расслоение проката	Неравномерность напряженно-деформированного состояния порошкового тела в очаге уплотнения (в поверхностных слоях проката обнаружены сравнительно большие остаточные растягивающие напряжения)	1,5–2,5
	Трещины	Окисление и наклёп частиц	
		Плохое качество смешивания или использование химически неоднородного материала	

Использование метода прокатки порошковой смеси в качестве метода для формования геометрии фрикционной металлокерамической накладки позволяет сократить затраты на производство данной детали, а также повысить эксплуатационные качества и снизить уровень выхода брака.

Список литературы

1. Процессы порошковой металлургии. Красноярск: ИПК СФУ, 2008.
2. Хренов О.В., Дмитриевич А.А., Лешок А.В. Теория и технология получения порошковых материалов: учеб. пособие. Минск: БНТУ, 2011.

А.С. Лимарев, Т.Ю. Маркварт

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ НА КАЧЕСТВО ХОЛОДНОКАТАНОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ЛИСТА

Рассмотрено влияние поверхностных дефектов на показатели качества холоднокатаного автомобильного листа. Изучены параметры шероховатости поверхности и определены возможные мероприятия для улучшения.

Одним из наиболее востребованных видов проката на современном рынке металлопродукции является холоднокатаная листовая сталь. Она используется во многих отраслях хозяйственной деятельности, занимающих важное место в экономике страны: строительство, машиностроение и автомобилестроение, производство бытовой техники и аппаратуры. Специфика данных отраслей приводит к тому, что значительная часть холоднокатаного проката применяется для холодной штамповки изделий сложной формы. Закономерным итогом такого использования является рост требований потребителей к качеству холоднокатаного листа, среди которых наряду с механическими свойствами и геометрическими параметрами существенное значение играет состояние поверхности и коррозионная стойкость проката.

Среди основных потребителей холоднокатаного листа важнейшую роль играет автомобилестроение, доля которого на мировом рынке составляет около 30% [2]. Это обуславливает повышенный интерес к таким показателям, как коррозионностойкость и прочность. Для защиты от коррозии на металл наносится покрытие, качество которого во многом определяется состоянием поверхности автомобильного листа. Поверхностные дефекты могут оказаться очагом разрушения металла в процессе штамповки или причиной неудовлетворительного вида окрашенной либо покрытой декоративным слоем поверхности изделия. Эти дефекты затрудняют, а иногда делают невозможным использование металла в автомобильной промышленности [4]. Существенное влияние на адгезионные свойства металла оказывают загрязнения поверхности, такие дефекты, как «загрязнение поверхности», «пятна ржавчины», «вкатанная окалина», «пригар эмульсии» и т.п. (рис. 1).

На прочность и внешний вид лакокрасочных и других покрытий значительное влияние оказывает отделка поверхности, то есть ее микрогеометрия, одним из параметров которой является шероховатость [4].

Согласно ГОСТ 2789-73 шероховатость можно охарактеризовать, как неровности поверхности с относительно малыми шагами, нормируемые такими параметрами, как R_a (среднее арифметическое отклонение профиля), R_z (высота неровностей профиля по десяти точкам), R_{max}

(наибольшая высота профиля), S_m (средний шаг неровностей), S (средний шаг местных выступов профиля), r (уровень сечения профиля) (рис. 2). Снижение к минимуму шероховатости поверхности холоднокатаного листа, т.е. приближение к зеркальной, позволяет достичь максимального блеска окрашиваемых деталей кузова автомобиля, что важно для потребителя. В то же время чрезмерно гладкая поверхность нежелательна, поскольку развитый микрорельеф улучшает адгезию покрытия к металлу. Также высокая шероховатость из-за необходимости укрытия выступающих пиков приводит к увеличению количества наносимого материала [4]. Наличие непокрытых микровыступов исходной поверхности металла приводит к возникновению коррозии и снижению эффективности защитных свойств покрытия.

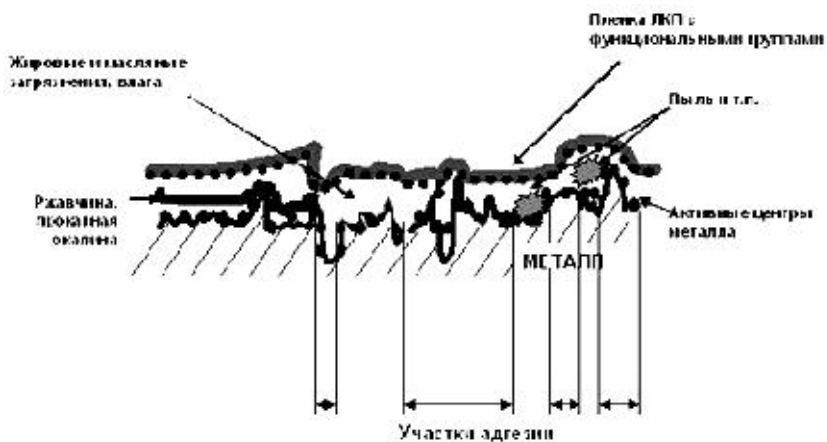


Рис. 1. Влияние загрязнений поверхности на адгезионные свойства металла

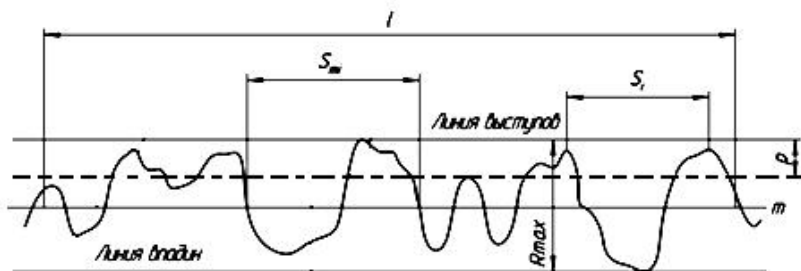


Рис. 2. Параметры шероховатости поверхности

Помимо обеспечения высоких адгезионных свойств шероховатость оказывает влияние на механические свойства и штампуемость металла.

Увеличение шероховатости поверхности вызывает ухудшение механических свойств дрессированной листовой стали, потому что это приводит к снижению предела прочности металла и увеличению твердости.

Для повышения штампуемости листовой стали при одновременном обеспечении высокой чистоты поверхности готовых изделий целесообразно использовать листы с существенно различной шероховатостью сторон. Это обусловлено тем, что листовая сталь с разношероховатой поверхностью сторон обладает лучшей штампуемостью, чем металл, у которого шероховатость поверхности обеих сторон одинаковые [4].

В соответствии с ГОСТ 9045-93 шероховатость R_a автомобильного листа должна находиться в пределах от 0,6 до 1,6 мкм. Поскольку шероховатость поверхности регламентируется в жестких границах и не всегда удается достичь значений R_a в заданном диапазоне, что соответственно приводит к неудовлетворительному виду покрытия, то необходима разработка мероприятий, позволяющих достичь оптимальных значений шероховатости металла. В свою очередь, это является важнейшей предпосылкой для долговечной коррозионной защиты слоем покрытия, а также соблюдения заданных механических свойств и штампуемости.

Среди мероприятий, позволяющих улучшить параметры шероховатости холоднокатаного автомобильного листа, можно выделить следующие:

- совершенствование способов подготовки поверхности рабочих валков к прокатке и дрессировке;
- повышение стойкости рабочих валков за счет увеличения твердости их рабочего слоя;
- совершенствование технологических процессов, осуществляемых при производстве холоднокатаного листа;
- совершенствование методов контроля шероховатости в условиях непрерывного производства;
- разработка методов математического моделирования для прогнозирования и получения заданных параметров шероховатости.

Список литературы

1. Бильштайн В., Эндерле В. // Черные металлы. 2009. №12. С.49–51.
2. Беньковский М.А., Мазур В.Л., Мелешко В.И. Производство автомобильного листа. М.: Металлургия, 1979. 256 с.
3. Беньковский М.А., Масленников В.А. Автомобильная сталь и тонкий лист. Череповец: Издательский Дом «Череповец», 2007. 636 с.
4. Отделка поверхности листа / Мелешко В.И., Чекмарев А.П., Мазур В.Л., Качайлов А.П. М.: Металлургия, 1975. 272 с.

О.С. Коростелева, А.С. Лимарев

СНИЖЕНИЕ ОБЪЕМА ПРОКАТА НЕМЕРНОЙ ДЛИНЫ НА СОРТОВЫХ СТАНАХ

Рассмотрены возможные причины образования остатков сортовой продукции немерной длины. Разработан алгоритм раскроя полосы на сортовом стане, обеспечивающий уменьшение количества проката, уходящего в обрезь.

В настоящее время в российской металлургической отрасли сложились благоприятные условия для развития сортопрокатного производства, связанные с реализацией программы строительства жилья как в частном секторе, так и в рамках государственного заказа. Кроме того, акционирование большинства металлургических заводов, наличие современных технологий, оборудования, систем управления и относительно доступная стоимость новых сортовых станов, в сравнении с листопрокатными станами, существенно повышает актуальность научного направления, решающего вопросы повышения качества, производительности и эффективности работы сортовых станов [1].

Для потребителей металлопродукции наряду с такими показателями, как механические свойства, химический состав, качество поверхности, макро- и микро- структура важное место занимает соответствие геометрических параметров как по поперечному сечению профиля, так и по длине полосы. Необходимость соблюдения точных размеров по длине приводит к тому, что значительная часть прокатанной сортовой продукции вынужденно отправляется в брак из-за несоответствия длины проката. Это приводит к снижению производительности и эффективности производства, повышению количества брака, а в итоге к существенным экономическим потерям. Для уменьшения количества сортовой продукции немерной длины были проанализированы причины возникновения данного дефекта:

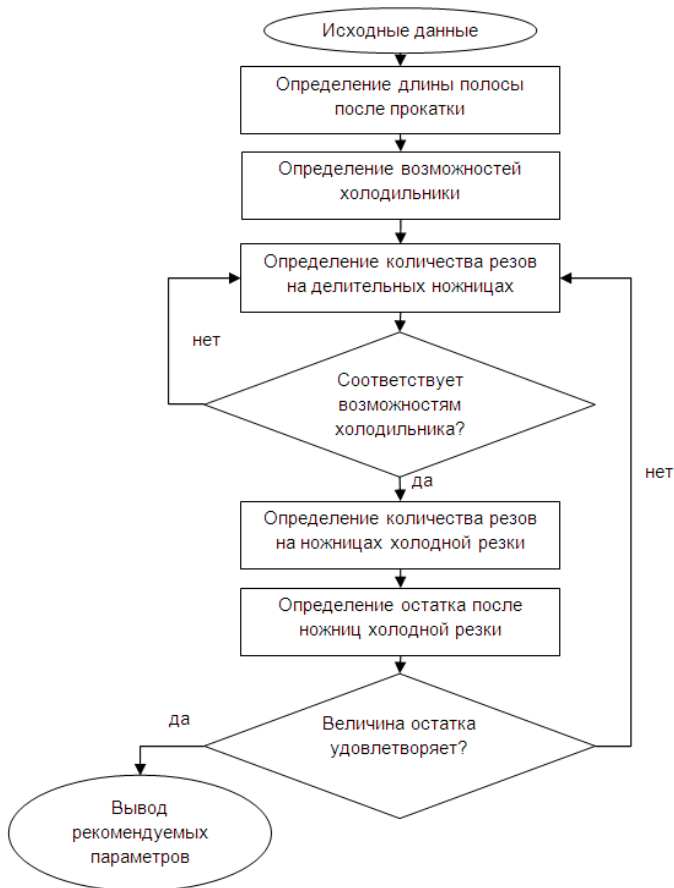
- неправильно установленный упор;
- нарушение технологии подачи раската под упор;
- нерациональный раскрой полосы на делительных ножницах;
- человеческий фактор.

Устранение первых двух проблем в значительной степени связано с соблюдением технологического процесса и правильной настройкой оборудования. Осуществление качественного контроля над соблюдением требований технологической инструкции на ножницах холодной резки. Влияние человеческого фактора значительно уменьшит совершенствование системы автоматизации и контроля на участке резки. Проблема рационального выбора раскроя связана с возможностью отклонения исходной заготовки по длине, что приводит к изменению размеров конечной полосы. Это приводит к необходимости настройки параметров резки для каждой заготовки,

что в условиях непрерывного производства возможно лишь при наличии быстро действующей системы автоматического управления процессом раскроя. Рациональный раскрой проката практически полностью исключает обрезь, не предусмотренную технологической документацией, на участке ножниц холодной резки. Однако, как правило, в прокатном цехе осуществляются раскрой на кратные мерные длины с немерными отрезками длиной не менее 1 м до 10% массы всей партии. Использование этого проката приводит к образованию большого количества отходов [2]. В связи с этим в целях экономии металла необходима разработка методики рационального раскроя металла на сортовых станах.

Среди параметров, определяющих характеристики раскроя, можно выделить следующие: геометрические параметры заготовки и готовой продукции, технологическая обрезь в линии стана, размеры холодильника, режимы обжатый полосы. В большинстве случаев во время прокатки эти параметры являются неизменными, что существенно ограничивает возможности по рациональному раскрою металла после прокатки. Рассматривая технологический процесс производства прутков, можно выделить два этапа, позволяющих оперативно варьировать длину готовой полосы. Первым этапом является предварительная резка на делительных ножницах перед холодильником, который во многом определяет возможности окончательной резки по размерам заказчика на ножницах холодной резки. Раскрой на делительных ножницах надо осуществить так, чтобы все разрезанные прутки поместились на холодильнике. Из этого следует, что необходимо согласовать требования потребителей к длине прутков с характеристиками раскроя на холодильнике. В данном случае размеры холодильника являются ограничивающими параметрами, что было учтено при разработке алгоритма рационального раскроя полосы на сортовом стане (см. рисунок), позволяющем существенно снизить количество немерной продукции.

В качестве исходных данных служат геометрические параметры заготовки и готовой продукции, характеристики оборудования, параметры формоизменения и возможная технологическая обрезь на всех этапах технологического процесса. Далее, исходя из условия постоянства объема на основе параметров формоизменения, с учётом технологической обреза в линии стана, определяется длина полосы после прокатки. На основе этого параметра находится предварительное число резов на делительных ножницах. Поскольку выше холодильник был определен, как ограничивающий параметр, то необходимо произвести проверку возможности размещения раскроенного металла. При выполнении этого условия становится возможным определение необходимого количества делений на ножницах холодной резки и получаемого остатка при данном резе. В случае неудовлетворения условий по количеству немерного остатка необходимо произвести перераспределение длины на делительных ножницах. Подбор рациональных параметров раскроя осуществляется необходимым числом итераций, пока не будет достигнут требуемый результат.



Алгоритм расчета раскроя заготовки

По предварительным расчетам с использованием предлагаемого алгоритма в сортовом цехе ОАО «ММК» на стане 370 ожидается уменьшение количества немерной продукции на 60%. В качестве достоинства данной методики можно выделить ее относительную простоту, что позволяет без особых затруднений внедрить ее в систему автоматического регулирования раскроя на сортовых станах.

Таким образом, применение предлагаемой методики рационального раскроя металла на сортовых станах позволяет существенно снизить количество немерной продукции, результатом чего будет повышение эффективности производства, снижение отходов и, как следствие, сокращение экономических потерь при производстве.

Список литературы

1. Концепция построения современных моделей прокатки на сортовых станах / А.Б. Моллер, О.Н. Тулупов, А.С. Лимарев, Д.В. Назаров // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2007. №1. С.64–67.
2. Производство проката из рессорно-пружинистой стали / Жадан В.Т., Воронцов Н.М., Кулак Ю.Е. и др. М.: Металлургия, 1984. 216 с.

УДК 621.771

Е.Г. Касаткина, Е.И. Курбанова

АНАЛИЗ УРОВНЯ КАЧЕСТВА СТАЛЬНОГО ЛИСТА С ПОЛИМЕРНЫМ ПОКРЫТИЕМ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Рассмотрены причины возникновения дефектов при изготовлении стального проката с полимерным покрытием. Определены основные задачи и мероприятия, которые позволили бы устранить дефекты «волнистость», «надав», «завальцованная кромка» и обеспечить высокий уровень качества выпускаемой продукции.

В настоящее время на территории Российской Федерации растет число автосборочных предприятий по выпуску автомобилей. Локализация на базе существующих или вновь создаваемых предприятий возможна только при условии производства продукции заданного уровня качества. Специальные требования по применению МС ИСО 9001 для автомобильной промышленности и организаций поставщиков изложены в ИСО/ТУ 16949. Выполнение требований данных технических условий гарантирует получение продукции необходимого качества и регламентирует процедуры, с помощью которых подтверждается соответствие систем менеджмента качества заданным требованиям. Получение высококачественной продукции неразделимо связано с вопросами управления качеством на всех этапах жизненного цикла продукции.

Методы квалиметрии позволяют решать задачи по планированию и оценке качества продукции, в том числе оценивать различные варианты технологических процессов производства.

С улучшением качества проката, технологий цинкования, фосфатирования и окраски металл с полимерным покрытием начал проявлять новые свойства и завоевывать новые области применения. Качественный лакокрасочный слой позволяет деформировать металл и получать штампованные изделия, отвечающие заданным требованиям. Основные преимущества проката с полимерным покрытием:

1. Эксплуатационные: возможность переработки металла с полимерным покрытием в готовые изделия; равномерная толщина покрытия и

однородные свойства по всей поверхности; отсутствие пор и, соответственно, лучшие защитные свойства; высокая адгезия; атмосферостойкость и др.

2. Экономические: сокращение себестоимости производства; сокращение расходов на энергоносители; сокращение сроков изготовления; сокращение расходов на финансирование складских запасов (сырье, химикаты).

Полимерное покрытие представляет собой пленку на основе высокомолекулярных соединений на поверхности проката, сформированную при горячей сушке нанесенных валковым методом жидких ЛКМ и обладающую комплексом защитных, декоративных, физико-механических и других специальных свойств.

Металл с полимерным покрытием состоит из металлического основания со слоем обработки поверхности, слоя грунта и слоя полимерного покрытия (рис. 1).

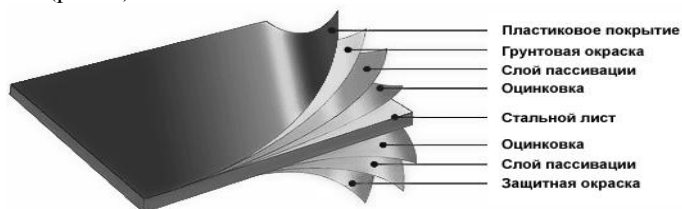


Рис. 1. Слои окраски металла

Холоднокатанный прокат и холоднокатанный горячеоцинкованный прокат с полимерным покрытием должен соответствовать требованиям ГОСТ Р 52146 «Прокат тонколистовой холоднокатаный и холоднокатанный горячеоцинкованный с полимерным покрытием с непрерывных линий» и другим НД в зависимости от заказа. Номенклатуру показателей качества можно представить в виде «дерева свойств» (рис. 2).

При изготовлении стального проката с полимерным покрытием часто возникают дефекты «непрокрас», «надав», «завальцованная кромка», отпечатки, неплоскостность и другие, которые могли случиться как в предшествующей технологии, так и при транспортировке. Дефекты представлены с помощью диаграммы Парето (рис. 3).

Диаграмма Парето – это столбчатая диаграмма, на которой интервалы (столбики) упорядочены по нисходящей линии. Интервалы представляют виды дефектов, их локализацию, ошибки и прочее, а высота интервалов (высота столбиков) – частоту возникновения дефектов, их процентное соотношение, стоимость, время и прочее.

Для улучшения показателей плоскостности полос и исправления дефектов, полученных в предшествующих операциях в линию АПП-1, необходимо установить изгибно-растяжную машину. Неплоскостность полосы, надав, завальцованная кромка устраняются в результате совместного действия изгиба относительно роликов малого диаметра и рас-

тяжения. При закономерном изгибе с приложением натяжения деформация происходит по всей ширине полосы: различные участки по ширине получают разную пластическую деформацию, уменьшающую исходную неплоскостность проката.



Рис. 2. Показатели качества холоднокатаного проката с полимерным покрытием

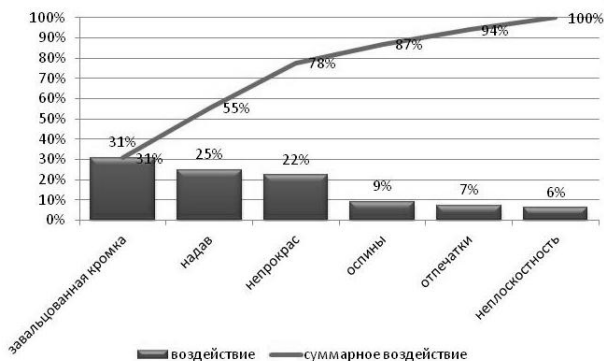


Рис. 3. Диаграмма Парето дефектов, встречающихся при производстве проката с полимерным покрытием

Оборудование ИРМ – шестивалковая сквозная прочностная машина, состоит из двух зон:

- первая зона удаляет краевую волну и коробоватость;
- вторая зона удаляет продольную кривизну и поперечный изгиб.

Натяжение создается двумя парами натяжных S-образных станций, установленных перед и после правильной клетки.

Настройка ИРМ должна исключать остаточную деформацию изгиба проката после его правки.

Список литературы

1. Яковлева Е.С., Мезин И.Ю., Касаткина Е.Г., Куцепендик В.И. Квалиметрическая модель оценки результативности технологических схем производства штампованных изделий // Черные металлы. 2011. Специальный выпуск. С. 60-62.
2. Михайловский И.А. Практический опыт гармонизации требований к качеству металлопроката при производстве автокомпонентов для ведущих мировых автопроизводителей // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. №6. С.30-34.
3. Мухин Ю.А., Бобков Е.Б. Исследование влияния параметров настройки машины правки изгибом с растяжением на плоскостность холоднокатаных полос // Производство проката. 2006. №6.
4. Носов В.Л., Распопов А.Л., Пилюгина Н.И Освоение агрегата полимерных покрытий - новый этап развития технологии переработки проката на ММК // Сталь. 2004. №12.

УДК 629.1.01

**И.Г. Гун, И.А. Михайловский, В.В. Сальников,
В.И. Куцепендик, Е.И. Гун**

РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПРОЧНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ ШАССИ АВТОМОБИЛЯ, СОДЕРЖАЩИХ ШАРОВЫЕ ШАРНИРЫ

В статье представлены примеры использования разработанных и проверенных экспериментально конечно-элементных моделей, позволяющих определять основные прочностные показатели шаровых опор подвески, рулевых наконечников, рулевых тяг в сборе и контролировать их соответствие регламентированному уровню на стадии проектирования.

Объектом исследования являются элементы подвески и рулевого привода, содержащие шаровые шарниры, т.е. шаровые опоры подвески, рулевые наконечники и рулевые тяги в сборе. Надежность данных изделий непосредственно влияет на безопасность движения автомобиля, поэтому к ним предъявляется комплекс жестких требований. Основными являются прочностные требования, поскольку отказ шарниров шасси по причине разрушения сопряжен с тяжелыми последствиями.

Основными прочностными требованиями являются:

1. Минимальное усилие вырыва пальца из корпуса.
2. Минимальная критическая сила при испытании рулевой тяги в сборе на устойчивость.
3. Минимальная сила в момент начала пластических деформаций при испытании шарового пальца на изгиб.

В настоящее время определение данных прочностных показателей на большинстве российских производств автокомпонентов осуществляется

экспериментально и носит проверочный характер. В этом случае при проектировании новой конструкции необходимость наличия образцов для проведения испытаний и отсутствие неразрушающих методов контроля определяют длительные сроки проектирования и высокую стоимость доводочных работ. В связи с этим актуальной является задача расчетного определения указанных показателей и контроля их соответствия регламентированному уровню на стадии разработки конструкции с целью повышения эффективности проектирования.

Задача определения усилия вырыва решена на примере конструкции шарнира подвески, который в настоящее время устанавливается на автомобиле ВАЗ 21214 и ВАЗ 2123 при сборке модулей подвески в ОАО «АВТОВАЗ».

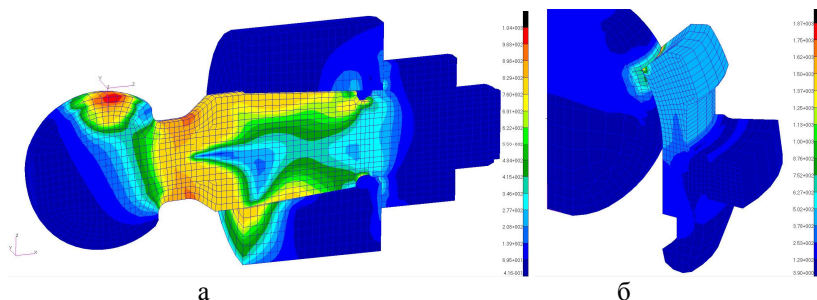
Моделирование процесса вырыва пальца из корпуса проводилось с использованием метода конечных элементов [1, 2] с учетом физической и геометрической нелинейности.

Состоятельность разработанной конечно-элементной модели была оценена путем сравнения результатов расчетов с экспериментальными данными для трех шарниров. Для проведения адекватной проверки расчета перед испытаниями образцов были измерены их геометрические параметры и определены механические характеристики материалов. Эта информация была использована в качестве исходных данных при расчете. В табл. 1 и на рисунке представлены результаты испытаний и проведенных расчетов. Незначительное различие расчетных и экспериментальных данных позволяет говорить об удовлетворительной точности модели для её использования в дальнейших исследованиях.

Таблица 1

Оценка точности разработанной модели вырыва пальца из корпуса

Образец	№1	№2	№3
Результат испытания, Н	33962,2	37788,1	38249,2
Результат расчета, Н	34345,2	37941,6	37237,2
Различие, %	1,1	0,4	2,7



Результаты расчета напряженно-деформированного состояния при изгибе шарового пальца (а) и вырыве пальца из корпуса (б)

Разработанная модель была использована конструкторскими службами поставщика второго уровня при подготовке технического предложения по наружному рулевому наконечнику перспективного отечественного автомобиля ЛАДА В. Техническим заданием (ТЗ) являлась разработка конструкции с некоторыми заданными геометрическими параметрами (в том числе определенным расстоянием от центра шаровой головки до базового диаметра конуса пальца), отвечающей заданным функциональным и прочностным требованиям (определенный угол качания пальца в корпусе при усилии вырыва не менее 25 кН). Было предложено несколько конструктивных исполнений корпуса шарнира, которые с использованием разработанной модели были проанализированы с точки зрения обеспечения требуемого усилия вырыва. В результате проведенных расчетов было обосновано то, что при заданной величине расстояния от центра шаровой головки до базового диаметра корпуса невозможно обеспечить гарантированное усилие вырыва не менее 25 кН. При других значениях данного расстояния расчетное усилие также не превышало необходимого значения. Поэтому конструкторами поставщика второго уровня была дана рекомендация либо изменить исходные геометрические параметры шарнира, либо пересмотреть требования по усилию вырыва. В результате обсуждения между специалистами OEM и поставщика первого уровня было сформулировано новое ТЗ со скорректированными исходными геометрическими данными и сниженным требованием к усилию вырыва – не менее 20 кН.

Определение критической силы при испытании рулевых тяг в сборе на устойчивость также проводили на примере конструкции рулевой тяги перспективного отечественного автомобиля ЛАДА В. Анализ устойчивости проводили методом конечных элементов с учетом пластических свойств материалов и шарнирного соединения комплекующих рулевой тяги.

Данный расчет также был использован на стадии проектирования для сравнительного анализа различных конструктивных исполнений. В данном случае обязательными для выполнения геометрическими параметрами являлись размеры, определяющие форму стержня корпуса наружного рулевого наконечника. Однако параметры сечения стержня корпуса в ТЗ заданы не были и должны были быть выбраны таким образом, чтобы критическая сила для тяги в сборе составляла не менее 15 кН. Предложенный анализ устойчивости рулевых тяг позволил оценить влияние параметров сечения на величину критической силы и выбрать их ориентировочные значения, обеспечивающие требуемый уровень критической силы.

Определение силы в момент начала пластических деформаций при испытании шарового пальца на изгиб с использованием метода конечных элементов проводилось на примере трех вариантов конструкции пальца наружного рулевого наконечника легкового автомобиля с различными геометрическими параметрами шейки пальца.

Адекватность и точность полученных результатов была оценена сравнением с экспериментальными данными для трех образцов каждого конструктивного исполнения (табл. 2).

Таблица 2

Оценка точности модели испытаний шаровых пальцев на изгиб

Образец	Вариант №1			Вариант №2			Вариант №3		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Результат расчета, Н	31716			38167			40927		
Результат испытания, Н	32052	31953	31925	38400	38530	37840	46080	40660	42020
Различие, %	1,1	0,8	0,7	0,6	1,0	0,9	11,2	0,7	2,7

Незначительное различие результатов говорит о достаточной точности разработанной модели для ее использования в дальнейших исследованиях. Данная модель также может быть использована на стадии проектирования для выбора рациональных геометрических параметров шаровых пальцев, обеспечивающих должный уровень интересующих прочностных показателей.

Таким образом, разработанные модели могут быть использованы на стадии проектирования новых конструкций элементов подвески и рулевого привода, содержащих шаровые шарниры, при поиске эффективных или оптимальных параметров конструкции. Использование моделей на этапе проектирования позволяет сократить сроки и стоимость проектирования.

Список литературы

1. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979. 392 с.
2. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. 543 с.

УДК 669.15-196

Е.В. Петроченко, О.С. Молочкова, А.А. Ахметова

ВЛИЯНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЖАРОСТОЙКИХ ЧУГУНОВ

Изучено влияние алюминия и ниобия на структуру и свойства жароизносостойких чугунов с целью увеличения срока службы деталей, работающих в условиях повышенных температур и износа.

Увеличение срока службы быстроизнашивающихся деталей машины, работающих в условиях повышенных температур и абразивного износа, – важнейшая проблема современного машиностроения. Малый срок службы таких изделий снижает экономическую эффективность многих машин и промышленного оборудования горно-обогатительного, металлургического, коксохимического производства и приводит к безвозвратным потерям металла.

В таких условиях работы важен не только высокий уровень прочностных характеристик, но и достижение высоких показателей нескольких специальных свойств и стабильность данных характеристик во время эксплуатации, что обычно не достигается применением промышленных износостойких чугунов.

Совершенствование состава чугуна легированием позволяет решить данную проблему и повысить срок службы, долговечность деталей и оборудования горно-обогательного, металлургического, коксохимического производства, работающего в условиях интенсивного абразивного изнашивания при повышенных температурах.

В настоящей работе исследовано совместное влияние алюминия и ниобия на структуру и свойства чугуна марки ИЧ220Х18Г4НТ.

Металлографические исследования микроструктуры сплавов проводили на оптическом микроскопе МЕИИ-2700 при увеличении от 100 до 1000 крат.

Количественный анализ проводили на анализаторе изображений Thixomet Standard при увеличении от 100 до 1000 крат на шлифах до и после травления.

Испытания на износостойкость ($K_{и}$) исследуемых образцов проводили по методике, регламентированной ГОСТ 23.208-79.

Жаростойкость оценивали по двум показателям: окалиностойкость (ГОСТ 6130-71) и ростоустойчивость (ГОСТ 7769-82).

У исходного чугуна ИЧ220Х18Г4НТ формируется структура, состоящая из избыточных дендритов аустенита и аустенитохромистокарбидной эвтектики, присутствуют карбиды титана (рис. 1).

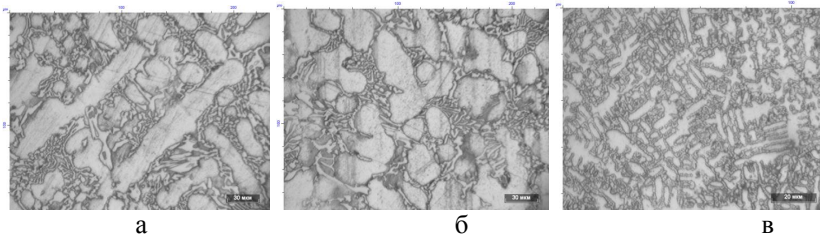


Рис. 1. Микроструктура чугуна ИЧ220Х18Г4НТ, залитого в сухую ПГФ (а), х 500; в сырую ПГФ (б), х 500; в кокиль (в), х 1000

С увеличением скорости охлаждения (залитка в кокиль) растет объемная доля карбидов в эвтектике от 17–20 до 20–35%, уменьшается средний размер карбидов от 4,2–5,7 до 2,1–2,6 мкм, максимальный размер карбидов от 251–1321 до 88–230 мкм, снижается количество (от 52 до 30%) и размеры (от 105 до 54 мкм) дендритов первичного аустенита, что приводит к увеличению износостойкости. Падение окалиностойкости с увеличением скорости охлаждения связано с тем, что растет доля карбидов в структуре, а следовательно, происходит обеднение твердого раствора хромом.

Фазовый состав чугунов, легированных алюминием и ниобием, представляет собой α -фазу (феррит), γ -фазу (аустенит), карбиды типа M_7C_3 и карбиды типа MC. Все сплавы являются доэвтектическими. Структура сплава состоит из избыточных карбидов (Nb, Ti)C, дендритов аустенита и аустенитохромистокарбидной эвтектики и вторичных карбидов типа Cr_7C_3 . Структуры, формирующиеся при различном содержании алюминия и ниобия, представлены на рис 2.

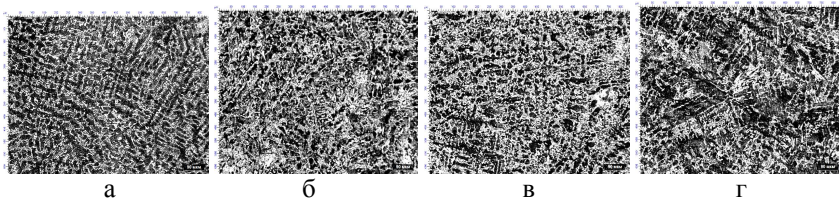


Рис. 2. Фотография микроструктуры чугуна ИС220Х18Г4НТ в травленном виде, содержащего:

а – 1% Al, 1% Nb; б – 1% Al, 2% Nb; в – 1% Al, 3% Nb; г – 2% Al, 1% Nb

Было исследовано изменение твердости (HRC), микротвердости металлической основы ($HV_{осн}$) и эвтектики ($HV_{эвт}$), износостойкости ($Kи$), окалиностойкости и ростоустойчивости в зависимости от условий охлаждения (заливка в сухую, сырую песчано-глинистые формы и чугунный кокиль) и химического состава, результаты представлены в таблице.

Наилучшей окалиностойкостью обладает чугун ИС220Х18Г4Ю2Б2НТ, залитый в сырую ПГФ. В структуре чугуна образовалось 4,9% карбидов (Nb, Ti)C и 12,2% карбидов $(Fe, Cr, Mn)_7C_3$. Как сильный карбидообразующий элемент Nb связывает углерод в стойкие карбиды, тем самым предотвращает образование карбидов хрома, больше хрома остается в металлической основе, поэтому сопротивление окислению повысилось. Увеличение содержания Al, при постоянном содержании Nb, снижает показатель Δm^{800} , следовательно, повышается окалиностойкость сплава.

При увеличении скорости охлаждения коэффициент износостойкости возрастает от 4,99 до 5,4 ед. для сплава с содержанием 1% Al и 1% Nb (сухая ПГФ и кокиль); от 5,2 до 6,65 ед. для сплавов с 2% Al и 2% Nb и от 3,69 до 4,73 ед. для сплавов 3% Al и 3% Nb, в связи с ростом объемной доли карбидов типа M_7C_3 и карбидов типа MC. Увеличение содержания ниобия в сплаве повышает износостойкость, а алюминия незначительно снижает ее. Максимальной износостойкостью обладает чугун ИС220Х18Г4Ю2Б2НТ, залитый в кокиль, в структуре присутствует 5,4% карбидов типа MC и 14% карбидов типа M_7C_3 , твердость этого чугуна максимальная – 50 HRC, микротвердость эвтектики 9369 МПа.

При изменении содержания Al и Nb от 1 до 3% твердость меняется незначительно – от 46 до 50 HRC.

В процессе испытаний на окалиностойкость происходит коагуляция вторичных карбидов типа M_7C_3 . Рост чугуна равен нулю, потому что при совместном легировании хромом и ниобием происходит дисперсионное твердение в форме, и при температурах испытаний фазовых превращений не наблюдается.

Изменение свойств от условий охлаждения

Al, Nb, %	Тип формы	$K_{и}$, ед.	Твердость HRC	Δm^{800} , г/м ² ·ч	HV _{осн} , МПа	HV _{эвт} , МПа	Объемная доля MC, %	Объемная доля M_7C_3 , %	L, %
1 Al-1 Nb-3	сух	4,17	50	0,069	-	6242	3,8	12,9	0
	сыр	3,22	48	0,06	4195	6364,5	3,95	17,7	0
	кок	4,83	49	0,065	-	4746,5	6,1	13	0
2 Al-2 Nb-2	сух	5,2	50	0,0067	4550	6896	3,38	12	0
	сыр	6,23	49	0,0046	-	8868	4,9	14,2	0
	кок	6,65	50	0,009	6220	9369	5,4	11	0
3 Al-3 Nb-1	сух	3,55	48	0,0098	5608,5	6042	1,9	21,6	0
	сыр	3,4	46	0,0145	-	7427	1,7	16	0
	кок	3,7	47	0,0113	-	9062	4,3	22,5	0
4 Al-1 Nb-1	сух	4,99	48	0,0479	3371	6619	4,5	14	0
	сыр	4,9	50	0,06	-	7416	4,8	11,6	0
	кок	5,4	50	0,05	-	8953	2,6	17,4	0
5 Al-2 Nb-3	сух	3,58	47	0,038	-	7932	5,5	15,3	0
	сыр	4,19	46	0,033	5326	8955	3,63	22,7	0
	кок	4,0	48	0,03	-	6327	5,2	22,2	0
6 Al-1 Nb-2	сух	5,07	50	0,047	5195	8855	5,1	14	0
	сыр	5,01	48	0,033	-	8762	4,4	15,5	0
	кок	5,17	49	0,014	-	6375	1,6	21,3	0
7 Al-2 Nb-1	сух	4,75	48	0,065	-	9477	2,55	8,2	0
	сыр	5,2	48	0,020	-	5425	3,05	23,8	0
	кок	5,3	48	0,028	-	7851	3,06	9,3	0
8 Al-3 Nb-2	сух	4,0	49	0,045	-	6300	3,72	15	0
	сыр	4,2	48	0,022	-	7328	2,67	15,8	0
	кок	4,2	50	0,024	-	6032	3,2	11	0
9 Al-3 Nb-3	сух	3,69	50	0,053	-	9186	3,21	11	0
	сыр	4,1	49	0,02	-	7995	3,43	9,5	0
	кок	4,73	50	0,03	6204	8393	2,99	9	0

Результаты исследования совместного влияния алюминия и ниобия на структуру и свойства чугуна из нового состава показали положительное влияние этих элементов на структуру и весь комплекс свойств. Совместное легирование этими элементами способствует одновременному

повышению жаростойкости и износостойкости. Износостойкость растет за счет увеличения доли карбидной фазы высокой твердости (Nb,Ti)C. Аллюминий входит в состав оксидных пленок, повышает их защитные свойства и, как следствие, окислительную стойкость сплава. Легирование ниобием вызывает вторичное твердение в литевой форме, при охлаждении в твердом состоянии образуются дисперсные частицы карбидов M_7C_3 , в результате при температурах испытания не происходит деградации структуры, ростоустойчивость увеличивается.

Список литературы

1. Петроченко Е.В. Взаимосвязь химического состава, структуры и свойств комплексно-легированных белых чугунов в литом состоянии // Изв. вузов. Черная металлургия. 2012. № 3. С. 51–55.
2. Петроченко Е.В., Молочкова О.С. Анализ взаимосвязи химического состава, условий охлаждения при затвердевании с особенностями строения сплавов, окисленной поверхности и свойствами комплексно-легированных белых чугунов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 4 (36). С. 50-53.

УДК 628.344.4

Н.Г. Павлова, О.А. Долгачева

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РАБОЧИХ ВАЛКОВ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ЛИСТОПРОКАТНЫХ СТАНОВ ОАО «ММК» ПРИ ОСВОЕНИИ ИХ ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ ЗАО «МРК»

Освоена новая высокорентабельная продукция в условиях ЗАО «МРК» – рабочие валки холодной прокатки. Разработана и внедрена технология предварительной термической обработки валков (термоулучшение). Дальнейшее развитие производства конкурентоспособных валков связано с освоением в ЗАО «МРК» технологии ДТО рабочей поверхности бочки.

Ввод в эксплуатацию новых станов увеличил потребность ОАО «ММК» в основном инструменте прокатного производства – рабочих валках, эксплуатационные свойства которых не только определяют качество проката, но и эффективность производства в целом. В 2011 г. инициатива ЗАО «МРК» об изготовлении опытной партии рабочих валков была поддержана на «ММК» при условии их изготовления с качественными характеристиками и стойкостью на уровне лучших российских аналогов.

До начала работ был проведен анализ рынка производителей рабочих валков холодной прокатки и анализ применяемых материалов и тех-

нологий. Лидерами по стойкости валков являются фирмы ПАО «НКМЗ (Украина), «SHEFFILD» (Великобритания) и «STEINHOFF» (Германия), применяющие эффективные технологии термической обработки.

В 2012 году была изготовлена опытная партия рабочих валков (8 шт.) ЛПЦ-8 методом переточки из отработанных валков ЛПЦ-3 из двух марок сталей (60X2СМФ, 9Х2МФ). Благодаря разработке и освоению режимов предварительной термической обработки валков получен высокий уровень прочностных свойств основного металла до 1090 МПа, способного выдерживать при эксплуатации значительные крутящие и изгибающие нагрузки на бочке и шейках. Существующее оборудование ЗАО «МРК» позволяет обеспечить полный цикл производства валков за исключением окончательной термической обработки, поэтому поверхностная закалка бочки проводилась по кооперации в ОАО «ОРМЕТО-ЮУМЗ» г. Орск на установке ТПЧ-700 методом индукционного нагрева.

Полученные качественные характеристики валков полностью отвечают требованиям стандартов РФ.

В июле-августе 2012 г. валки после естественного старения были приняты в эксплуатацию и до настоящего времени из работы не выводились. Мониторинг показал, что стойкость валков производства ЗАО «МРК» находится на уровне стойкости валков других российских производителей.

Однако для завоевания рынка сбыта валков в ОАО «ММК» необходимо создание продукции с показателями стойкости на уровне импортных аналогов, что требует получения более глубокого рабочего слоя поверхности бочки валка с максимальной твердостью и её минимальным разбросом.

В настоящее время начинается следующий этап в развитии производства рабочих валков холодной прокатки в ЗАО «МРК», что предполагает ввод в эксплуатацию нового оборудования и освоение технологии поверхностной закалки бочки валка – дифференцированной термической обработки (ДТО) с применением в качестве заготовки отработанных валков из современных легированных марок сталей.

Реализация программы на данном этапе позволит создать в ЗАО «МРК» на базе имеющихся производственных мощностей современное производство по выпуску конкурентоспособной продукции в объеме 100 валков в год, что составит 20% от потребности ОАО «ММК».

Выводы

1. Впервые была разработана и успешно внедрена технология предварительной термической обработки валков (термоулучшение) в условиях ЗАО «МРК» с закалкой бочки на стороннем предприятии, что позволило без дополнительных капитальных затрат освоить новую высокорентабельную продукцию – рабочие валки холодной прокатки с качественными характеристиками на уровне лучших отечественных

производителей. Экономический эффект от реализации валков составил для ЗАО «МРК» 669370 руб, для ОАО «ММК» – 40 8 31 руб.

2. Дальнейшее развитие производства конкурентоспособных валков возможно при освоении в ЗАО «МРК» технологии ДТО рабочей поверхности бочки с общими капитальными затратами в размере 87,3 млн руб. и сроком окупаемости 4,63 года при объеме поставки 100 валков в год.

УДК 669.334.13

Н.Л. Калугина, И.А. Варламова, Д.А. Калугин, Н.А. Варламова

ЦЕМЕНТАЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕДИ ИЗ РАСТВОРОВ И РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрена возможность применения процесса цементации для выделения меди из техногенных растворов и различных материалов, его термодинамическая, кинетическая составляющие, достоинства и недостатки. Экспериментально определены оптимальные условия цементационного извлечения меди из технологических растворов участка кучного выщелачивания ОАО «Башкирская медь».

Снижение экологической нагрузки горно-обогатительных и металлургических предприятий, расширение сырьевой базы для производства меди возможны в основном путем комплексной переработки различных видов техногенного минерального сырья, к которому относятся колчеданные огарки, отходы медеплавильных заводов, рудничных отвалов, а также окисленные медные руды. Из них в конечном счете образуется техногенное гидроминеральное сырье – разбавленные медьсодержащие растворы [1, 2].

Применение процесса цементационного осаждения малоактивных металлов путем вытеснения их из раствора своей соли металлом с более отрицательным электродным потенциалом (обычно более чем 0,2 В) в цветной металлургии известно давно. Цементация широко используется в гидрометаллургии цветных и редких металлов, преимущественно в следующих целях: для очистки раствора, содержащего основной металл, от примесей (например, растворов, содержащих сульфат цинка – цинковый электролит – от примесей меди, кадмия цементацией на цинке); для выделения основного металла из раствора (например, извлечение меди цементацией на железе, золота – на цинке и др.).

По сравнению с химическим выделением металлов реагентами различной природы, поставленная цель – довести содержание экстрагируемого целевого металла до минимально возможного порогового содержания его в растворе в процессе цементации достигается достаточно просто, но не до конца, а только до какой-то минимальной концентрации, лежащей в интервале 0,5–2 мкг/см³, так как термодинамическая возмож-

ность протекания процесса определяется соотношением величин электродных потенциалов металла-цементатора Me_1 с более отрицательным электродным потенциалом E_{Me_1} , чем вытесняемый металл $Me_2 - E_{Me_2}$. Поскольку по мере выделения металла Me_2 изменяется его концентрация, а следовательно, и значение потенциала, то процесс протекает до установления равновесия, когда

$$E_{Me_1}^0 + \frac{RT}{z_1 F} \ln a(Me_1^{z_1}) = E_{Me_2}^0 + \frac{RT}{z_2 F} \ln a(Me_2^{z_2});$$

$$\text{тогда} \quad \lg \frac{a^{1/z_1}(Me_1)}{a^{1/z_2}(Me_2)} = \frac{(E_{Me_2}^0 - E_{Me_1}^0)F}{2,3RT},$$

где $E_{Me_1}^0$ и $E_{Me_2}^0$ – стандартные потенциалы Me_1 и Me_2 , В; $a(Me_1^{z_1})$ и $a(Me_2^{z_2})$ – активности ионов этих металлов в растворе, моль/дм³; z_1 и z_2 – заряды их ионов; T – температура, К.

Пользуясь данным равенством, можно рассчитать равновесные отношения активностей ионов для различных пар металлов. Так, например, согласно Я.В. Вайнеру и М.А. Дасоян [3], равновесные отношения активностей $a(Me_1^{z_1}) : a(Me_2^{z_2})$ для пары Zn / Cu составляют $1 \cdot 10^{-33}$, для пары $Fe / Cu - 1,3 \cdot 10^{-27}$, что свидетельствует о том, что медь в этих случаях возможно практически полно выделить из растворов. Однако нужно учитывать, что термодинамическое равновесие на практике не всегда удается достичь вследствие таких затруднений, как низкая скорость процесса цементации, обусловленная, например, связыванием вытесняемых катионов металлов в прочные комплексы с присутствующими в растворе анионами, низкой температурой перерабатываемого раствора, а также явлениями поляризации.

По своему механизму цементация – электрохимический процесс, который возникает при погружении металла-цементатора Me_1 в раствор, содержащий ионы вытесняемого металла $Me_2^{z_2}$, т.к. на поверхности Me_1 образуются анодные участки, на которых идет ионизация атомов металла-цементатора с образованием ионов $Me_1^{z_1}$, и катодные участки, покрытые вытесняемым металлом Me_2 . Внешней цепью такого короткозамкнутого элемента служит электролит, омическое сопротивление которого зависит от концентрации ионов в растворе. Так как катодные и анодные участки соединены, электроны от анодных участков перетекают к катодным, где происходит разряд ионов вытесняемого металла. После образования этих разграниченных участков, осаждение основной массы металла проходит на катодных участках, что является энергетически выгодным, т.к. не требует затрат энергии на образование зародышей новой фазы [4].

Как любой гетерогенный процесс, цементация состоит из диффузных и кинетической стадий. Контролирующая стадия цементации зависит от величины и характера процесса электродной поляризации. Различают концентрационную поляризацию, вызванную малой скоростью процесса доставки ионов $Me_2^{z_2}$ в сравнении со скоростью их разряда, и химическую поляризацию, вызванную меньшей скоростью разряда ионов $Me_2^{z_2}$ в сравнении со скоростью их доставки. Скорость и лимитирующие стадии процесса поляризации могут меняться вследствие изменения концентрации вытесняемого металла, а также поверхности катодных и анодных участков [4].

Повышение температуры не во всех случаях ускоряет процесс цементации. Например, при повышении температуры ускоряется цементация меди на цинке, но ухудшается цементация кадмия, который в этих условиях активно окисляется растворенным кислородом [5].

Практически цементацию ведут порошками (гранулами, дробью, скрапом) активных металлов (*Fe, Al, Zn, Mg*), которые однозначно загрязняют осадки вытесняемых металлов. Для получения осадков большей чистоты применяют цементацию на листах. Одна из разновидностей цементации – выделение металлов из растворов с помощью амальгам, например, амальгамы цинка или амальгамы натрия для выделения галлия из щелочных алюминатных растворов [6].

Несмотря на простоту и освоенность в промышленности, процесс цементации имеет массу известных недостатков объективного характера, например негативное выделение водорода. Все авторы отмечают два фактора: анодное растворение металла-цементатора и катодное осаждение, которое сопровождается конкурирующим процессом выделения водорода в водных растворах; выделение водорода блокирует поверхность металла-цементатора. и этот побочный процесс приводит к увеличению его расхода.

Наиболее часто применяемыми в гидрометаллургии меди являются растворы следующего состава, г/дм³: 0,3 – 5,0 Cu; 2,0 – 8,0 Fe; 0,2 – 1,0 – взвеси; рН от 1,4 до 3,2. Растворы перед цементацией чаще всего подвергают обработке, включающей регулирование рН, отделение взвесей и восстановление трехвалентного железа, т.к. трехвалентное железо снижает скорость цементации и увеличивает расход металлического железа на цементацию.

На основании изучения теории процесса, нами проведено экспериментальное исследование по извлечению из оборотных технологических растворов участка кучного выщелачивания ОАО «Башкирская медь» меди (с исходным содержанием меди до 3 г/дм³) методом цементации порошками железа марок CMS и ASC-300. Установлено, что для качественного проведения процесса должны быть строго соблюдены следующие условия: подкисление исходных растворов перед началом процесса до рН ≈ 1,0; высокая интенсивность перемешивания раствора и скрапа; превышение количества металла-цементатора Me_1 по отношению к содержанию извлекаемого металла Me_2 из обрабатываемого раствора во время проведения процесса

должно достигать не менее 1,30–1,88:1,00 в молярном соотношении; оптимальное время цементации – 10 мин; полученный цементный осадок из раствора с минимально возможной концентрацией необходимо быстро скоагулировать, отфильтровать, промыть и высушить. В этих условиях степень извлечения меди составляет от 98,12 до 99,98%.

Список литературы

1. Калугина Н.Л., Варламова И.А., Медяник Н.Л. Изучение возможности селективного извлечения меди методом известкования из сточных вод горных предприятий // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2010. № 2. С. 188.
2. Методология создания ресурсоспроизводящих технологий переработки техногенного гидроминерального сырья / Медяник Н.Л., Калугина Н.Л., Варламова И.А., Строкань А.М. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 1. С. 5–9.
3. Вайнер Я.В., Дасоян М.А. Технология электрохимических покрытий. Л.: Машиностроение, 1972. 464 с.
4. Скорчеллетти В.В. Теоретическая электрохимия. Л.: Химия, 1974. 567 с.
5. Набойченко С.С., Смирнов В.И. Гидрометаллургия меди. М.: Metallurgia, 1974. 271 с.
6. Алкацев М.И. Процессы цементации в цветной металлургии. М.: Metallurgia, 1981. 116 с.

УДК 637. 528

О.В. Зинина, И.В. Тарасова, Е.В. Гаврилова

НАПРАВЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОМОДИФИЦИРОВАННОГО КОЛЛАГЕНСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

Описаны современные способы биомодификации коллагенсодержащего сырья. Выявлены положительные и отрицательные стороны биомодификации. Рассмотрены направления рационального использования биомодифицированного коллагенсодержащего сырья на мясоперерабатывающих предприятиях.

Основной задачей современных мясоперерабатывающих предприятий является расширение ассортимента высококачественной и безопасной продукции с длительными сроками хранения. Вырабатываемая продукция должна быть конкурентоспособной и производиться в объеме, достаточном для удовлетворения потребностей потребителей. Решение приведенной выше задачи связано с развитием пищевой биотехнологии и уровнем использования ее принципов в конкретных технологиях производства мясопродуктов.

Рациональное и максимальное использование в производстве коллагенсодержащего сырья способствует улучшению экологического состояния. Внедрение данного сырья в мясное производство способствует сохранению и наращиванию объемов производства, при этом значительно расширяется ассортимент выпускаемых продуктов и улучшается их качество.

Коллагенсодержащее сырье в значительном количестве имеет животный белок, необходимый для обеспечения физиологических норм питания человека. К основным видам данного сырья относят поверхностные покровы животных (шкурки), а также внутренние органы (селезенка, почки, печень, пищевод, легкие, желудки, вымя, кишечные комплекты и т.д.) и другие технологические отходы (голова, уши, губы и т.д.).

Традиционным направлением переработки коллагенсодержащего сырья является производство сухих животных кормов, различных кормовых добавок, белковых гидролизатов. В значительно меньшем количестве производится мясная продукция. Так, субпродукты, содержащие мышечную ткань (диафрагма, головное мясо, сердце), пригодны для выработки вареных колбас более низких сортов. Легкие, рубцы, сычуги используют в рецептурах ливерных колбас, мясных хлебов. Субпродукты с высоким содержанием коллагена (рубцы, сычуги, ноги, уши, свиная шкурка) служат сырьем для изготовления студней и зельцев. Выработка данной продукции в настоящее время ограничена из-за нестойкости при хранении и незначительного спроса потребителей. Кроме этого, использование сырья с высокой массовой долей коллагеновых белков непосредственно в производстве мясных продуктов проблематично из-за недостаточной функциональности и трудностей при переработке этих белков, а также из-за очень слабой перевариваемости. Привлечение огромных ресурсов коллагена для получения полезных продуктов затруднено недостаточной научной базой, обосновывающей нетрадиционные технические решения, среди которых главной задачей считается выделение коллагеновых субстанций, разработка технологий производства и использования коллагеновых масс различной функциональности. Трудоемкость их выделения и целесообразность использования тесно связаны с особенностями гистоморфологического строения и химическим составом тканей.

Эффективным инструментом решения данной конкретной в технологическом, экономическом и социальном направлениях проблемы является применение принципов биомодификации коллагенсодержащего сырья. Используемые принципы направлены на регулирование хода биохимических, физико-химических и микробиологических процессов, в результате которых формируются основные характеристики готового продукта: вкус, цвет, запах, структура, консистенция, нежность.

На настоящий момент разработано множество методов биомодификации мясного сырья. Большинство из этих методов хорошо изучены и достаточно обширно применяются на практике. Например, методы переработки коллагенсодержащего сырья, основанные на химическом и термическом воздействиях на соединительную ткань. Данные методы явля-

ются достаточно трудными и энергоемкими процессами, а также оказывают негативное воздействие на мышечную и жировую ткани, ухудшают органолептические показатели готовых изделий. В случае химического метода биомодификации возникает дополнительная необходимость в удалении химических реактивов.

Также существуют наиболее перспективные и малоизученные способы улучшения свойств сырья, как, например, ферментативная обработка. Ферментативные способы обработки подразумевают обработку сырья ферментными препаратами (животного и растительного происхождения) и стартовыми культурами. Недостатками обработки ферментными препаратами являются: узкий ассортиментный ряд, высокая стоимость предлагаемых препаратов, преобладание препаратов импортного производства.

Наибольший научный и практический интерес проявляют к применению заквасок микроорганизмов. Микроорганизмы с пробиотическими свойствами способствуют получению готового продукта стабильного качества, глубокой переработке основного и вторичного сырья, реализации технологических режимов в естественных диапазонах температур, pH и давления среды, с минимальными затратами материальных и энергоресурсов. Действие микроорганизмов основано на образовании органических кислот, ферментов, витаминов и других веществ, способствует улучшению санитарно-микробиологических, органолептических показателей готового продукта, а также позволяет интенсифицировать процесс производства. К одним из наиболее перспективных микроорганизмов для обработки коллагенсодержащего сырья относят бифидобактерии и пропионовокислые бактерии.

По результатам проведенного анализа литературных данных можно сделать вывод, что современные предприятия заинтересованы в расширении ассортимента вырабатываемой продукции на основе более полного и рационального использования вторичного сырья животного происхождения, а также в получении прибыли от продажи данных мясных изделий.

Список литературы

1. Антипова Л.В., Глотова И.А. Использование вторичного коллагенсодержащего сырья мясной промышленности. СПб.: ГИОРД, 2006. 384 с.
2. Машенцева Н.Г., Хорольский В.В. Функциональные стартовые культуры в мясной промышленности. М.: ДеЛи принт, 2008. 336 с.
3. Изменение соединительной ткани под действием ферментного препарата и стартовых культур / Ребезов М.Б., Лукин А.А., Хайруллин М.Ф., Лакеева М.Л., Пирожинский С.Г., Дуць А.О., Ребезов Я.М. // Вестник мясного скотоводства. 2011. Т.3. № 64. С. 78–83.
4. Зинина О.В., Ребезов М.Б. Технологические приемы модификации коллагенсодержащих субпродуктов // Мясная индустрия. 2012. № 5. С. 34–36.
5. Использование коллагенового гидролизата в технологии производства мясного хлеба / Ребезов М.Б., Лукин А.А., Наумова Н.Л., Зинина О.В., Пирожин-

- ский С.Г. // Вестник Тихоокеанского государственного экономического университета. 2011. № 3. С. 134–140.
- б. Полуфабрикаты мясные рубленые с ферментированным сырьем / Зинина О.В., Ребезов М.Б., Жаклыккова С.А., Солнцева А.А., Чернева А.В. // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2012. № 3. С. 19–25.

УДК 658.562: 669.1

Е.Н. Бородина, И.Г. Шубин, М.И. Румянцев

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ КАЧЕСТВА ДЛЯ ОЦЕНКИ СКВОЗНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА МЕТИЗНЫХ ИЗДЕЛИЙ

На основе разработанной методики расчета и оценки результативности СМК проведено оценивание эффективности и результативности системы менеджмента качества метизного предприятия при производстве стальных канатов.

Комплексный показатель результативности сквозной технологии производства метизных изделий включает комплексные показатели качества исходной заготовки, технологических параметров производства, свойств готовой продукции и показатель дефектности K_d :

$$K = K_{\text{подк}} \cdot K_{\text{т пр прод}} \cdot K_{\text{прод}} \cdot K_d. \quad (1)$$

Комплексные показатели качества исходной заготовки, технологических параметров производства и свойств готовой продукции определяются как средние взвешенное геометрическое [1]:

$$K_k = \prod_{i=1}^n K_i = \prod_{i=1}^n q_i^{\beta_i}, \quad (2)$$

где β_i – весомость показателя качества, определяемая экспертным методом, причем сумма весомостей всех показателей качества равна единице; n – количество показателей качества; q_i – относительный показатель качества, определяемый по одной из формул [2, 3]:

$$q_i = \frac{P_i}{P_{i0}} \quad (3)$$

или
$$q_i = \frac{P_{i0}}{P_i}, \quad (4)$$

или
$$q_i = 1 - \frac{(P_{i0} - P_i)^2}{(P_{imax} - P_{imin})^2}, \quad (5)$$

где $P_i^{\text{баз}}$ – базовое (эталонное) значение i -го единичного показателя; P_i – фактическое значение i -го единичного показателя.

Формулу (3) используем тогда, когда увеличению абсолютного значения показателя качества соответствует улучшение качества изделий. В иных случаях, когда увеличение абсолютного показателя качества характеризует ухудшение качества продукции, для расчета относительного значения показателя используют формулу (4). Формула (5) более универсальна, так как применима для трансформации показателей независимо от того, повышает или понижает их рост общую оценку качества, и учитывает фактический интервал изменений показателей качества. Максимальное значение относительного показателя качества равно единице.

Показатель дефектности – понижающий коэффициент комплексного показателя результативности, который повышает точность оценки за счет учета доли дефектов и позволяет выявить свойства исходной заготовки и технологические параметры производства продукции, оказавшие наибольшее влияние на их получение:

$$K_{\delta} = \prod_{i=1}^n (q_i^{D_i}), \quad (6)$$

где D_i – весомость брака, рассчитываемая как среднее взвешенное арифметическое

$$D_i = \sum_{j=1}^m (d_j \times \alpha_{ij}), \quad (7)$$

где d_j – доля дефекта в общем объеме бракованной продукции, определяемая по фактическим данным цеха; m – число дефектов готовой продукции; α_{ij} – степень влияния i -го показателя качества исходной заготовки и технологических параметров производства продукции на получение дефекта, определяемая экспертным путем, причем $\sum_{j=1}^m \alpha_{ij} = 1$.

Сквозная технология производства грузолоудских и грузоподъемных канатов охватывает технологический цикл производства катанки, канатной проволоки и канатов (табл. 1–3).

Базовые значения показателей качества сортовой горячекатаной заготовки установлены в ГОСТ 2591-2006, катанки – в ТУ 14-1-5317-95, канатной проволоки – в ГОСТ 7372-79, канатов типа ЛК-РО конструкции 6×36 (1+7+7/7+14)+7×7(1+6) диаметром 45,5 мм – в ГОСТ 7669-80, технологии производства – в технологических инструкциях ОАО «ММК-МЕТИЗ».

Комплексный показатель результативности производства катанки (см. табл. 1):

$$K_I = K_{c3} \cdot K_{mnpk} \cdot K_{\kappa} \cdot K_{\delta 1} = [q(\Delta_0) \cdot q(\gamma_0) \cdot q(k_0) \cdot q(\theta_0) \cdot q(C_{\kappa p_0}) \cdot q(C_{\kappa \kappa \kappa})] \cdot [q(V_1)^{0,023} \cdot q(T_2, T_3)^{0,027} \cdot q(T_4, T_5)^{0,023} \cdot q(T_6, T_7)^{0,01} \cdot q(T_{10}, T_{11})^{0,062} \cdot q(T_{12}, T_{13})^{0,018} \cdot q(T_{14}, T_{15})^{0,077}] \cdot [q(d_1)^{0,033} \cdot q(\Delta_1)^{0,018} \cdot q(\sigma_{e1})^{0,177} \cdot q(\psi_1)^{0,13} \cdot q(\lambda_1)^{0,14} \cdot q(C_{\kappa \kappa \kappa})^{0,117} \cdot q(B)^{0,048} \cdot q(3)^{0,078} \cdot q(\Delta_{co})^{0,018}] \cdot K_{\delta 1}. \quad (8)$$

Таблица 1

Комплексный показатель результативности производства катанки

Показатель	q		β	D		$K_d=q^D$		$K_k=q^\beta$		$K=K_d \cdot K_k$	
	2010	2011		2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011
Показатели сортовой заготовки:	–	–	–	–	–	0,997	0,997	0,942	0,969	0,939	0,966
- отклонение от номинал. стороны квадрата – Δ_0	0,995	1	0	0,056	0,101	1,000	1,000	0,995	1,000	0,995	1,000
- притупление углов проката – γ_0	0,984	0,998	0	0,050	0,091	0,999	1,000	0,984	0,998	0,983	0,998
- кривизна – κ_0	0,993	0,998	0	0,040	0,107	1,000	1,000	0,993	0,998	0,993	0,998
- отклонение от прямого угла – θ_0	0,983	0,991	0	0,051	0,110	0,999	0,999	0,983	0,991	0,982	0,990
- скручивание на 1 м – $S_{кр0}$	0,993	0,997	0	0,042	0,095	1,000	1,000	0,993	0,997	0,993	0,997
- углеродный эквивалент – $C_{эkv}$	0,993	0,985	0	0,108	0,097	0,999	0,999	0,993	0,985	0,992	0,984
Технологические показатели:	-	-	-	-	-	0,841	0,905	0,965	0,970	0,812	0,878
- температура по каждой нитке перед черновой группой – T_2, T_3	0,752	0,835	0,027	0,154	0,132	0,957	0,976	0,992	0,995	0,950	0,972
- температура перед линией водяного охлаждения PREBOX, расположенной перед чистовым блоком – T_4, T_5	0,963	0,906	0,023	0,163	0,132	0,994	0,987	0,999	0,998	0,993	0,985
- температура после линии водяного охлаждения PREBOX, расположенной перед чистовым блоком – T_6, T_7	0,75	0,829	0,010	0,188	0,129	0,947	0,976	0,997	0,998	0,945	0,974
- температура после виткообразователя после линии водяного охлаждения – T_{10}, T_{11}	1	0,979	0,062	0,160	0,103	1,000	0,998	1,000	0,999	1,000	0,997

Окончание табл. 1

Показатель	q		β	D		$K_d=q^D$		$K_k=q^\beta$		$K=K_d \cdot K_k$	
	2010	2011		2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011
- температура на конвейере воздушного охлаждения после участка с теплоизоляционными крышками – T_{12}, T_{13}	0,905	0,926	0,018	0,154	0,166	0,985	0,987	0,998	0,999	0,983	0,986
- температура на виткосборнике после конвейера воздушного охлаждения – T_{14}, T_{15}	0,750	0,786	0,077	0,175	0,089	0,951	0,979	0,978	0,982	0,930	0,961
- скорость прокатки в чистовом блоке – V_1	0,983	0,983	0,023	0,159	0,133	0,997	0,998	1,000	1,000	0,997	0,997
Показатели катанки	–	–	–	–	–	–	–	0,999	0,998	–	–
- диаметр катанки – d_1	1	1	0,033	–	–	–	–	1,000	1,000	–	–
- овальность катанки – Δ_1	1	0,993	0,018	–	–	–	–	1,000	1,000	–	–
- временное сопротивление разрыву – $\sigma_{в1}$	1	1	0,177	–	–	–	–	1,000	1,000	–	–
- относительное сужение – Ψ_1	1	1	0,130	–	–	–	–	1,000	1,000	–	–
- относительное удлинение – λ_1	1	1	0,140	–	–	–	–	1,000	1,000	–	–
- углеродный эквивалент – $C_{эв}$	0,993	0,985	0,117	–	–	–	–	0,999	0,998	–	–
- поверхностные дефекты (трещины) – Б	1	1	0,048	–	–	–	–	1,000	1,000	–	–
- пластинчатый перлит 1 балла – $B_{Пл}$	1	1	0,078	–	–	–	–	1,000	1,000	–	–
- глубина обезуглероженного слоя – Δ_{Co}	1	1	0,018	–	–	–	–	1,000	1,000	–	–
Комплексный показатель K_1	-	-	-	-	-	0,839	0,902	0,909	0,938	0,762	0,847

Таблица 2

Комплексный показатель результативности производства канатной проволоки

Показатель	q		β	D		$K_n=q^D$		$K_k=q^\beta$		$K=K_n \cdot K_k$	
	2010	2011		2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011
Показатели катанки:	-	-	-	-	-	0,999	0,996	0,999	0,998	0,998	0,995
- диаметр катанки – d_1	1	1	0,033	0,191	0,191	1,000	1,000	1,000	1,000	1	1
- овальность катанки – Δ_1	1	0,993	0,018	0,214	0,213	1,000	0,999	1,000	1,000	1	0,998
- временное сопротивление разрыву – σ_{B1}	1	1	0,177	0,158	0,158	1,000	1,000	1,000	1,000	1	1
- относительное сужение – Ψ_1	1	1	0,130	0,164	0,164	1,000	1,000	1,000	1,000	1	1
- относительное удлинение – λ_1	1	1	0,140	0,161	0,162	1,000	1,000	1,000	1,000	1	1
- углеродный эквивалент – $C_{эКВ}$	0,993	0,985	0,117	0,137	0,137	0,999	0,998	0,999	0,998	0,998	0,996
- поверхностные дефекты (трещины) – Б	1	1	0,048	0,118	0,118	1,000	1,000	1,000	1,000	1	1
- величина действительного зерна перлита – З	1	1	0,078	0,187	0,187	1,000	1,000	1,000	1,000	1	1
- глубина обезуглероженного слоя – Δ_{CO}	1	1	0,018	0,220	0,220	1,000	1,000	1,000	1,000	1	1
Технологические показатели:	-	-	-	-	-	0,950	0,964	0,982	0,987	0,933	0,952
- суммарное обжатие – Σ_δ	1	1	0,192	0,084	0,084	1,000	1,000	1,000	1,000	1	1
- скорость волочения – V_2	1	1	0,157	0,153	0,153	1,000	1,000	1,000	1,000	1	1
- температура селитровой ванны – $T_{ТО}$	0,819	0,888	0,068	0,183	0,183	0,964	0,978	0,987	0,992	0,951	0,971
- скорость прохождения ванны – $V_{ТО}$	0,924	0,923	0,058	0,185	0,185	0,985	0,985	0,995	0,995	0,981	0,981
Показатели канатной проволоки:	-	-	-	-	-	-	-	0,994	0,994	-	-
- диаметр проволоки – d_2	1	1	0,117	-	-	-	-	1,000	1,000	-	-
- временное сопротивление разрыву – σ_{B2}	1	1	0,110	-	-	-	-	1,000	1,000	-	-
- разбег врем сопр разрыву – $\Delta\sigma_{B2}$	0,965	0,945	0,077	-	-	-	-	0,997	0,996	-	-
- число скручиваний – $Скр_2$	0,96	1	0,057	-	-	-	-	0,998	1,000	-	-
- число перегибов – Γ_2	1	1	0,065	-	-	-	-	1,000	1,000	-	-
- углеродный эквивалент – $C_{эКВ}$	0,993	0,984	0,100	-	-	-	-	0,999	0,998	-	-
Комплексный показатель K_2	-	-	-	-	-	0,949	0,961	0,976	0,980	0,926	0,941

Таблица 3

Комплексный показатель результативности производства канатов

Показатель	q		β	D		$K_n=q^D$		$K_k=q^B$		$K=K_n \cdot K_k$	
	2010	2011		2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011
Показатели канатной проволоки:	-	-	-	-	-	0,998	0,998	0,994	0,994	0,993	0,993
- диаметр проволоки – d_2	1	1	0,117	0,034	0,035	1,000	1,000	1,000	1,000	1	1
- временное сопротивление разрыву – $\sigma_{в2}$	1	1	0,11	0,029	0,029	1,000	1,000	1,000	1,000	1	1
- разбег врем сопротивления разрыву – $\Delta\sigma_{в2}$	0,965	0,945	0,077	0,018	0,018	0,999	0,999	0,997	0,996	0,997	0,995
- число скручиваний – $С_{кр2}$	0,96	1	0,057	0,019	0,020	0,999	1,000	0,998	1,000	0,997	1
- число перегибов – Γ_2	1	1	0,065	0,021	0,021	1,000	1,000	1,000	1,000	1	1
- углеродный эквивалент – $C_{эКВ}$	0,993	0,984	0,1	0,032	0,033	1,000	0,999	0,999	0,998	0,999	0,998
Технологические показатели:	-	-	-	-	-	0,981	0,995	0,945	0,984	0,926	0,979
- шаг свивки – $H_{св}$	0,954	0,994	0,085	0,021	0,021	0,999	1,000	0,996	0,999	0,995	0,999
- скорость свивки – $V_{св}$	0,75	0,972	0,076	0,028	0,028	0,992	0,999	0,978	0,998	0,971	0,997
- натяжение кареток – k	0,723	0,926	0,059	0,021	0,022	0,993	0,998	0,981	0,995	0,974	0,994
- диаметр канала плашек – $d_{пл}$	1	1	0,050	0,025	0,025	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
- длина преформатора – L	0,989	0,963	0,068	0,024	0,025	1,000	0,999	0,999	0,997	0,999	0,997
- отклонение среднего ролика преформатора – O	0,84	0,91	0,065	0,020	0,020	0,997	0,998	0,989	0,994	0,985	0,992
Показатели каната:	-	-	-	-	-	-	-	0,995	0,994	-	-
- диаметр каната – d_3	1	1	0,085	-	-	-	-	1,000	1,000	-	-
- диаметр проволок – d_2	1	1	0,074	-	-	-	-	1,000	1,000	-	-
- суммарное разрыв. усилие всех проволок в канате – F	1	1	0,101	-	-	-	-	1,000	1,000	-	-
- временное сопротивление разрыву – $\sigma_{в3}$	0,981	0,979	0,078	-	-	-	-	0,999	0,998	-	-
- разбег временного сопротивления разрыву – $\Delta\sigma_{в3}$	0,96	0,948	0,064	-	-	-	-	0,997	0,997	-	-
- число скручиваний – $С_{кр3}$	1	1	0,063	-	-	-	-	1,000	1,000	-	-
- число перегибов – Γ_3	1	1	0,070	-	-	-	-	1,000	1,000	-	-
- углеродный эквивалент – $C_{эКВ}$	0,989	0,983	0,064	-	-	-	-	0,999	0,999	-	-
Комплексный показатель K_3	-	-	-	-	-	0,979	0,993	0,935	0,972	0,915	0,966

Комплексный показатель результативности производства катанки за 2010 и 2011 гг.:

$$K_1^{2010} = (0,942 \cdot 0,965 \cdot 0,999) \cdot 0,839 = 0,909 \cdot 0,839 = 0,762.$$

$$K_1^{2011} = (0,969 \cdot 0,97 \cdot 0,998) \cdot 0,902 = 0,938 \cdot 0,902 = 0,847.$$

Комплексный показатель результативности производства канатной проволоки (см. табл. 2):

$$K_2 = K_K \cdot K_{m \text{ пр. пров.}} \cdot K_{\text{прое.}} \cdot K_{\Delta 2} = \\ = [q(d_1)^{0,033} \cdot q(\Delta_1)^{0,018} \cdot q(\sigma_{\text{в1}})^{0,177} \cdot q(\psi_1)^{0,13} \cdot q(\lambda_1)^{0,14} \cdot q(C_{\text{эвк}})^{0,117} \cdot q(B)^{0,048} \cdot q(3)^{0,078} \cdot q(\Delta_{\text{св}})^{0,018}] \cdot \\ \cdot [q(\delta_{\Sigma})^{0,192} \cdot q(V_2)^{0,157} \cdot q(T_{\text{ТО}})^{0,068} \cdot q(V_{\text{ТО}})^{0,058}] \cdot \\ \cdot [q(d_2)^{0,117} \cdot q(\sigma_{\text{в2}})^{0,11} \cdot q(\Delta \sigma_{\text{в2}})^{0,077} \cdot q(C_{\text{кп2}})^{0,057} \cdot q(\Gamma_2)^{0,065} \cdot q(C_{\text{эвк}})^{0,1}] \cdot K_{\Delta 2}. \quad (9)$$

Комплексный показатель результативности производства канатной проволоки за 2010 и 2011 гг.:

$$K_2^{2010} = (0,999 \cdot 0,982 \cdot 0,994) \cdot 0,949 = 0,976 \cdot 0,949 = 0,926.$$

$$K_2^{2011} = (0,998 \cdot 0,987 \cdot 0,994) \cdot 0,961 = 0,980 \cdot 0,961 = 0,941.$$

Комплексный показатель результативности производства канатов (см. табл. 3):

$$K_3 = K_{\text{прое.}} \cdot K_{m \text{ пр. кан.}} \cdot K_{\text{кан.}} \cdot K_{\Delta 3} = \\ = [q(d_2)^{0,117} \cdot q(\sigma_{\text{в2}})^{0,11} \cdot q(\Delta \sigma_{\text{в2}})^{0,077} \cdot q(C_{\text{кп2}})^{0,057} \cdot q(\Gamma_2)^{0,065} \cdot q(C_{\text{эвк}})^{0,1}] \cdot \\ \cdot [q(H_{\text{св}})^{0,085} \cdot q(V_{\text{св}})^{0,076} \cdot q(k_{1-8})^{0,059} \cdot q(d_{\text{в1}})^{0,05} \cdot q(L)^{0,068} \cdot q(O)^{0,063}] \cdot \\ \cdot [q(d_3)^{0,085} \cdot q(d_2)^{0,074} \cdot q(\sigma_{\text{в3}})^{0,078} \cdot q(\Delta \sigma_{\text{в3}})^{0,064} \cdot q(C_{\text{кп3}})^{0,063} \cdot q(\Gamma_3)^{0,07} \cdot q(C_{\text{эвк}})^{0,064} \cdot q(F)^{0,101}] \cdot K_{\Delta 3}. \quad (10)$$

Комплексный показатель результативности производства грузоподъемных и грузоподъемных канатов за 2010 и 2011 гг. составил:

$$K_3^{2010} = (0,994 \cdot 0,945 \cdot 0,995) \cdot 0,979 = 0,935 \cdot 0,979 = 0,915.$$

$$K_3^{2011} = (0,994 \cdot 0,984 \cdot 0,994) \cdot 0,993 = 0,972 \cdot 0,993 = 0,966.$$

Комплексный показатель результативности сквозной технологии производства грузоподъемных и грузоподъемных канатов K в ОАО «ММК-МЕТИЗ», включающий комплексные показатели результативности производства катанки K_1 , канатной проволоки K_2 и канатов K_3 за 2010 и 2011 гг.:

$$K^{2010} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 = 0,762 \cdot 0,926 \cdot 0,915 = 0,65.$$

$$K^{2011} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 = 0,847 \cdot 0,941 \cdot 0,966 = 0,77.$$

Комплексный показатель результативности сквозной технологии производства за 2011 год вырос на 12% за счет повышения показателей качества и улучшения технологии производства.

Список литературы

1. Бородина Е.Н., Шубин И.Г., Румянцев М.И. К оценке влияния показателей качества и количества брака на комплексную оценку результативности производства канатов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70 межрегион. науч.-техн. конф. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. С. 280–283.
2. Гун Г.С. Управление качеством высокоточных профилей. М.: Металлургия, 1984. 152 с.
3. Рашников В.Ф., Салганик В.М., Шемшурова Н.Г. Квалиметрия и управление качеством продукции: учеб. пособ. Магнитогорск: МГТУ, 2000. 184 с.

МЕХАНИКО-МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ

УДК 621.2.082.18

**Е.И. Мироненков, Н.Ш. Тютряков, Р.Р. Юсупов,
Н.Л. Султанов, А.Л. Трофимова**

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ В ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧАХ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ КАРБОНИТРИРОВАНИЕМ

Рассмотрен анализ изменения коэффициента трения на контакте зубчатых передач после обработки карбонитрированием. Изучено влияние данной обработки на коэффициент трения, крутящий момент, мощность на выходном валу, потери мощности на трение.

Известно, что надежность работы зубчатых передач зависит от правильного выбора материалов пары трения и соответствующего смазочного материала. Исследование и анализ триботехнических материалов являются актуальными и одними из наиболее эффективных путей решения технических проблем, связанных со снижением потерь на трение и износ в парах трения металлургических машин.

Задача исследования – изучение условий контактирования через коэффициент трения в зубчатой передаче, зубья которой подвергнуты карбонитрированию.

Карбонитрирование представляет собой разновидность азотирования, отличающуюся более коротким циклом обработки (2–4 ч вместо 50 ч), что делает его привлекательным для применения в производстве. Оно создает слой твердого карбонитрида на поверхности детали, существенно снижающего скорость изнашивания [1].

Для решения задачи исследования использовали стенд для испытания зубчатых передач с замкнутым силовым контуром. В ходе исследований было выявлено, что часть мощности двигателя расходуется на преодоление сил трения в редукторах установки. При проведении эксперимента снимаются показания тока в электродвигателе. По току производится перерасчет на коэффициент трения.

Мощность на выходном валу:

$$N = \frac{M_k \cdot \omega}{\eta},$$

где N – мощность на выходном валу, кВт; M_k – крутящий момент на колесе, Н·м; ω – угловая скорость на выходном валу, с⁻¹; η – КПД электродвигателя, %.

Крутящий момент [1]:

$$M_k = \frac{p_{\max}^2 \cdot u^2 \cdot A^2 \cdot b}{7,5 \cdot 10^4 \cdot (u+1) \cdot K}$$

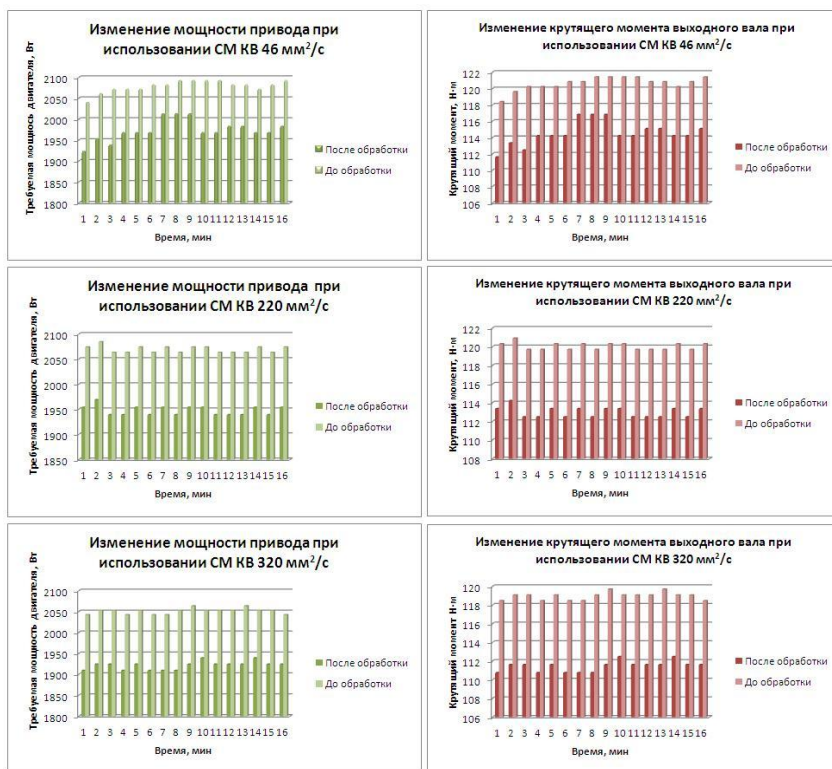
где p_{\max} – наибольшее нормальное контактное напряжение, действующее в зацеплении, МПа; u – передаточное число; A – межцентровое расстояние, м; b – ширина зубчатого венца, м; K - коэффициент симметрии расположения зубчатого колеса и шестерни.

В условиях данного эксперимента принималось среднее значение нормального контактного напряжения, действующего в зацеплении.

Потери мощности на трение:

$$P_{\Pi} = 2 \cdot F_{\text{тр}} \cdot v_{\text{ск}},$$

где P_{Π} – потеря мощности на трение в зубчатом зацеплении; $F_{\text{тр}}$ – сила трения, действующая в зацеплении; $v_{\text{ск}}$ – скорость скольжения.



После карбонитрирования потери мощности на трение в зубчатой передаче снижаются, т.к. снижается величина коэффициента трения.
Коэффициент трения:

$$f = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot (I_H - I_{x.x.}) \cdot \cos \varphi \cdot \eta}{2 \cdot v_{ck} \cdot P_K},$$

где U – напряжение в сети, В; I_H – ток нагрузки, А; $I_{x.x.}$ – ток холостого хода двигателя, 2,5 А; $\cos \varphi = 0,82$; η – КПД подшипников качения, 0,96; v_{ck} – скорость скольжения на контакте, м/с; P_K – окружная сила в зацеплении, Н.

Результаты расчетов показали, что мощность на выходном валу снижается до 30% за счет снижения коэффициента трения на контакте зубчатого колеса и вала-шестерни (см. рисунок).

Коэффициент трения после обработки карбонитрированием вала-шестерни и зубчатого колеса снижается до 30%. Снижение мощности на выходном валу происходит за счет снижения момента сопротивления до 30% на зубчатом колесе. Полученные результаты подтверждают возможность применения карбонитрирования в зубчатых зацеплениях редукторов для снижения коэффициента трения в тяжело нагруженных редукторах.

Список литературы

1. Коротков В.А. Карбонитрация деталей машин // Главный механик. 2011. №9.
2. Жиркин Ю.В. Надежность, эксплуатация и ремонт металлургических машин: учебник. Ч. 1. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2005. 230 с.

УДК 621.058

А.О. Миронов, А.В. Нефедов

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ВЫГРУЗКИ УГЛЯ ИЗ ВАГОНОВ ОАО «РЖД» ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВАГОНОПРОКИДЫВАТЕЛЯ УГЛЕПОДГОТОВИТЕЛЬНОГО ЦЕХА КХП ОАО «УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ»

Рассмотрена возможность реконструкции дробильно-фрезерной машины углеподготовительного цеха с целью установки её на участок вагонопрокидывателя №2, т.к. из-за отсутствия машины применяется опасный и вредный для здоровья человека ручной труд, а также присутствуют регулярные экономические затраты.

ОАО «Уральская Сталь» является предприятием полного цикла, который начинается с коксохимического производства, состоящего из УЩ, коксовых цехов №1 и 2, цеха улавливания и очистки.

Углеподготовительный цех обеспечивает прием, хранение, подготовку угля для коксования, осуществляет их усреднение по технологическим группам, дозирует компоненты в целях подготовки шихты на угольные башни коксовых печей.

Поступившие угольные концентраты разгружаются на вагонопрокидывателях №1 и 2.

При опрокидывании вагона крупные и смерзшиеся куски материала застревают на надбункерных решетках приемных бункеров вагоноопрокидывателей. На вагоноопрокидывателе №1 установлена дробильно-фрезерная машина, которая дробит крупные куски и смерзшиеся глыбы разгружаемого материала. А на вагоноопрокидывателе №2 такая машина отсутствует, т.к. планировка его участка не позволяет установить дробильно-фрезерную машину существующей конструкции.

Из-за отсутствия дробильно-фрезерной машины на вагоноопрокидывателе №2 снижается ежедневная выгрузка полувагонов и, как следствие, увеличивается время простоев вагонов. А простои вагонов влекут за собой наложение штрафов со стороны ОАО «РЖД». В среднем штрафы составляют 45000 руб. в месяц.

По той же причине в зимний период ежемесячно производится разбивка комьев вручную бригадой в количестве 4 человек в течение двух часов, в процессе чего рабочие подвергаются многочисленным рискам. Они находятся в атмосфере, где сильно повышена концентрация угольной пыли, при вдыхании которой развивается хроническое заболевание антракоз. Также при нахождении рабочих на решетках угольных ям высока вероятность падения и получения травм. Затраты на труд рабочих, в данном случае, составляют 65773,2 руб. в месяц.

Все штрафы и затраты ложатся на себестоимость шихты, в результате чего она повышается.

Дробильно-фрезерная машина представляет собой самоходную тележку, в передней части которой установлена фреза. При движении тележки над решеткой бункеров фреза вращается и разбивает попадающие на пути крупные куски материала.

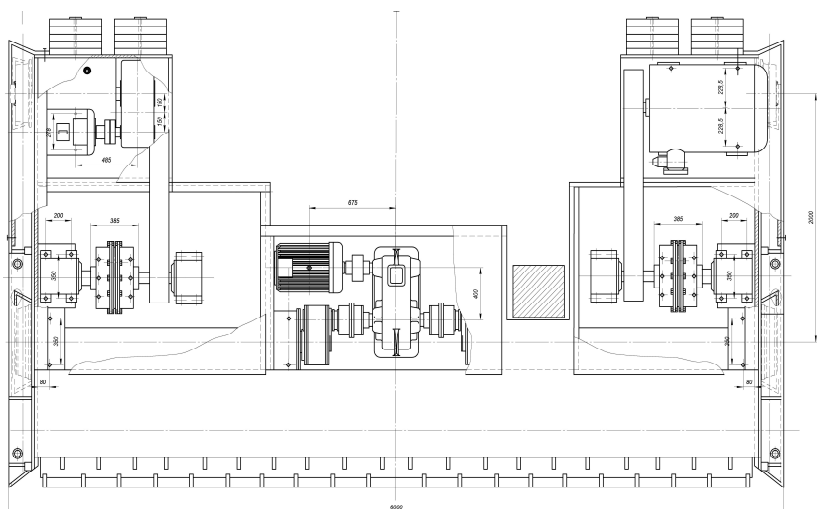
Все четыре колеса машины приводные. Привод передних колес состоит из электродвигателя, цилиндрического двухступенчатого редуктора с двойным тихоходным валом и двух вертикальных цилиндрических редукторов. Привод задних колес независимый и состоит из электродвигателей, цилиндрических двухступенчатых и вертикальных цилиндрических редукторов. Крутящий момент от электродвигателей на цилиндрические двухступенчатые редукторы передается через соединительные муфты. Редукторы и электродвигатели установлены на сварной раме.

Привод вращения фрезы состоит из электродвигателя и редуктора. Вращение от электродвигателя к редуктору передается через предохранительную муфту.

Для того чтобы установить дробильно-фрезерную машину на участок вагоноопрокидывателя №2, предлагается изменить конструкцию машины, а именно изменить конструкцию рамы и переместить электродвигатель вращения фрезы, поставив его над электродвигателем заднего привода, а вал электродвигателя и вал редуктора соединить цепной передачей (см. рисунок).

Мощность электродвигателя вращения фрезы составляет 75 кВт. Расчеты показали, что для передачи такой мощности потребуется приводная роликовая трехрядная цепь типа ЗПР (ГОСТ 13568-97) с шагом 31,75 мм.

Для того чтобы избежать разрыва цепи в момент пуска электродвигателя, в электрическую цепь будет установлено устройство плавного пуска.



Реконструкция дробильно-фрезерной машины

С такой реконструкцией будет обеспечиваться взаимозаменяемость деталей и узлов дробильно-фрезерных машин на обоих вагоноопрокидывателях, простота в обслуживании, возможность изготовить машину силами предприятия. Благодаря такой реконструкции появится возможность установить дробильно-фрезерную машину на вагоноопрокидыватель №2, что приведет к:

- экономии 45000 руб. ежемесячно за счет снижения штрафов за перепростой вагонов со стороны ОАО «РЖД»;
- увеличению выгрузки угля на 30-40 вагонов ежесуточно;
- экономии 65700 руб. ежемесячно в результате ухода от ручного труда;
- снижению рисков для рабочих.

Сокращение штрафов со стороны ОАО «РЖД» и затрат на ручной труд приведет к экономии до 450 000 руб. в год.

Список литературы

1. Свистунов Е.А., Чиченев Н.А. Расчет деталей и узлов металлургических машин. Справочник. М.: Металлургия, 1985. 184 с.
2. Машины и агрегаты металлургических заводов: в 3 т. Т. 1. Машины и агрегаты доменных цехов: учебник для вузов / Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1987. 440 с.
3. Жиркин Ю.В. Надежность, эксплуатация и ремонт металлургических машин: учебник. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2002. 330 с.

Е.С. Шеметова

ВЛИЯНИЕ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ВО ВНЕКОНТАКТНОЙ ЗОНЕ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ ДЛИННОМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Выполнен аналитический анализ влияния упругих деформаций на устойчивость пластической деформации во внеконтактной зоне при волочении длинномерных изделий. Показано, что расхождение между расчетными значениями параметров, соответствующих потере устойчивости пластической деформации во внеконтактной зоне при протягивании длинномерных изделий с учетом упругих деформаций и без их учета, не превышает 0,3–0,4%.

Устойчивость пластической деформации во внеконтактной зоне при волочении обычно оценивают без учета упругих деформаций, используя жесткопластическую реологическую модель деформирования материала. Такие допущения справедливы, когда пластические деформации намного больше упругих деформаций, например при локальном уменьшении площади поперечного сечения во внеконтактной зоне протягиваемого изделия перед его разрушением. В этом случае упругие деформации составляют незначительную долю в общей деформации и поэтому оказывают незначительное влияние на устойчивость пластической деформации.

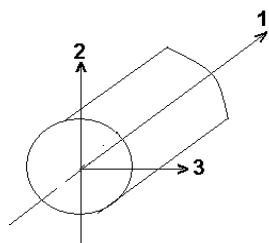


Схема главных осей
во внеконтактной зоне

В тех случаях, когда неустойчивость пластической деформации проявляется при малых значениях деформации и оказывает существенное влияние на показатели процесса волочения, влияние упругих деформаций на устойчивость пластических деформаций необходимо учитывать. Во внеконтактной зоне любое проявление неустойчивости пластической деформации вызывает появление линий скольжения, разнотональность поверхности готовой продукции и другие несоответствия.

Влияние упругих деформаций на устойчивость пластических деформаций во внеконтактной зоне рассмотрим на примере волочения длинномерного изделия из изотропного материала. Главные оси располагаем таким образом, чтобы ось 1 была направлена вдоль оси протягиваемого изделия, а оси 2 и 3 располагались в поперечном сечении (см. рисунок). Полагаем также, что в процессе деформации главные оси не вращаются относительно элементов внеконтактной зоны.

Под действием усилия протягивания материал во внеконтактной зоне удлиняется, получая общее приращение деформации:

$$d\varepsilon_1 = d\varepsilon_{m1} + d\varepsilon_{y1}, \quad (1)$$

где $d\varepsilon_{\pi 1}$ – приращение деформации в продольном направлении за счет пластической деформации; $d\varepsilon_{y1}$ – приращение деформаций в продольном направлении за счет упругой деформации.

Согласно теории упругости [1]

$$d\varepsilon_{y1} = \frac{d\sigma_1}{E}, \quad (2)$$

где σ_1 - напряжение, действующее по оси 1 в продольном направлении; E – модуль упругости протягиваемого материала.

С учетом уравнений (1) и (2) соотношение между напряжениями и деформациями запишем в виде

$$d\varepsilon_{\pi 1} = d\varepsilon_1 - \frac{d\varepsilon_1}{E}. \quad (3)$$

В поперечных направлениях по осям 2 и 3 приращения пластических деформаций равны:

$$\varepsilon_{\pi 2} = d\varepsilon_2 + \nu \frac{d\sigma_1}{E}; \quad d\varepsilon_{\pi 2} = d\varepsilon_3 + \nu \frac{d\sigma_1}{E}, \quad (4)$$

где ν – коэффициент Пуассона.

Условие постоянства объема для пластического деформирования имеет вид [2]

$$d\varepsilon_{\pi 1} + d\varepsilon_{\pi 2} + d\varepsilon_{\pi 3} = 0. \quad (5)$$

Поскольку материал протягиваемого изделия был принят изотропным, то поперечные приращения деформаций в поперечных направлениях будут одинаковыми, т.е.

$$d\varepsilon_{\pi 2} = d\varepsilon_{\pi 3} = -0,5 \left[d\varepsilon_1 - \frac{d\varepsilon_1(1-2\nu)}{E} \right]. \quad (6)$$

Учитывая, что главные оси не вращаются относительно элементов внеконтактной зоны, преобразуем уравнение (6) к виду

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = -\frac{1}{2} \left[\varepsilon_1 - \frac{\sigma_1(1-2\nu)}{E} \right]. \quad (7)$$

Усилие волочения, исключающее потерю устойчивости во внеконтактной зоне, в соответствии с уравнением (7)

$$P - F_0 \sigma_1 \exp \left\{ - \left[\varepsilon_1 - \frac{\sigma_1}{E} (1 - 2\nu) \right] \right\}. \quad (8)$$

Потеря устойчивости пластической деформации во внеконтактной зоне соответствует условию [3]

$$\frac{dP}{d\varepsilon_1} = 0. \quad (9)$$

Подставляя уравнение (8) в (9) и решая его, получим:

$$\frac{d\sigma_1}{d\varepsilon_1} \left(1 + \frac{(1-2\nu)\sigma_1}{E} \right) - \sigma_1 = 0. \quad (10)$$

Из полученного уравнения (10) следует, что влияние упругой деформации на потерю устойчивости пластической деформации во внеконтактной зоне описывается выражением

$$\frac{d\sigma_1}{d\varepsilon_1} = \frac{E \cdot \sigma_1}{E + (1-2\nu)\sigma_1} \quad (11)$$

где σ_1 – напряжение, соответствующее потере устойчивости пластической деформации протягиваемого материала.

Решая уравнение (11) относительно σ_1 , получаем:

$$\sigma_1 = \frac{\frac{d\sigma_1}{d\varepsilon_1}}{1 - \frac{d\sigma_1}{d\varepsilon_1} \cdot \frac{1-2\nu}{E}} \quad (12)$$

Из выражения (12) следует, что напряжение течения при потере устойчивости пластической деформации зависит не только от $d\sigma_1/d\varepsilon_1$ при идеальной пластической деформации, но и от упрочнения, связанного с изменением объема очага деформации при упругой деформации, учитываемое величиной $\frac{d\sigma_1}{d\varepsilon_1} \cdot \frac{1-2\nu}{E}$.

При значениях $\nu = 0,5$ упругого изменения объема не происходит и поэтому условие потери устойчивости принимает вид

$$\frac{d\sigma_1}{d\varepsilon_1} = \sigma_1 \quad (13)$$

В таблице приведены значения $\frac{d\sigma_1}{d\varepsilon_1}$ для некоторых материалов, применяемых для протягивания длинномерных изделий без покрытия и с покрытием, рассчитанных по формулам (12) и (13).

Марка стали	σ_1	E	ν	$d\sigma_1/d\varepsilon_1$		% расхождения
				без учета упругого изменения объема	с учетом упругого изменения объема	
Сталь 20	400	$2,05 \cdot 10^5$	0,26	400	399,62	0,095
Сталь 50С2	1300	$2,1 \cdot 10^6$	0,28	1300	1296,47	0,27
Медь	280	$1,1 \cdot 10^5$	0,33	280	279,76	0,086
Латунь Л-68	450	$2,05 \cdot 10^5$	0,36	450	449,40	0,133
Алюминий АМц	200	$0,95 \cdot 10^5$	0,34	200	199,81	0,095
Цинк	225	$0,84 \cdot 10^5$	0,27	225	224,72	0,124
Свинец СЗ	15	$0,17 \cdot 10^5$	0,42	15	14,998	0,014

Анализ таблицы показывает, что в зависимости от механических характеристик материалов, применяемых для сердечников и оболочек при протягивании длинномерных изделий, расхождение в условиях потери устойчивости пластической деформации во внеконтактной зоне с учетом упругого изменения объема и без его учета составляет 0,01–0,27%. Наименьшие значения соответствуют для свинца, а наибольшие значения – для стали 50С2.

Таким образом, при инженерных расчетах с точностью до долей процента можно использовать условие потери устойчивости пластической деформации во внеконтактной зоне при протягивании длинномерных изделий по уравнению (12) без учета упругих изменений объема деформируемого материала [4].

Список литературы

1. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. 2-е изд., испр. и доп. М.: Высш. шк., 1968. 512 с.
2. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. М.: Машиностроение, 1975. 400 с.
3. Джонсон У., Меллор П. Теория пластичности для инженеров. М.: Машиностроение, 1979. 567 с.
4. Определение упругой деформации волокна при протягивании заготовки в очаге деформации гиперболической формы / Огарков Н.Н., Тулупов О.Н. Корчунов А.Г. и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И.Носова. 2012. №2. С.90-92.

УДК 621.771.063.001.57

Е.А. Мурзаева, Н.Н. Огарков

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СТЫКОВ НА ЖЕСТКОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ПРИМЕРЕ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

Предложен аналитический подход для оценки жесткости рабочей клетки прокатного стана с учетом величины жесткости стыков (контактов), составляющих клетку, позволяющий получить параметры, максимально приближенные к действительности, и прогнозировать изменение жесткости прокатного стана в процессе эксплуатации без проведения трудоемких экспериментов.

Эффективность работы прокатных станов и качество выпускаемой продукции в определенной степени зависят от жесткости рабочих клеток. Поэтому при проектировании и эксплуатации прокатных станов необходимо грамотно рассчитывать оборудование рабочих клеток.

Часто при определении жесткости технологической системы используют экспериментальный метод, который характерен применением различных поправочных коэффициентов, полученных также при проведении ряда опытов. Поэтому можно говорить о том, что данные коэффициенты могут не отражать полной действительности. Также экспериментальный способ определения жесткости технологической системы является весьма трудоемким процессом.

Жесткость рабочих клеток – один из важнейших факторов, определяющих точность размеров проката. Количественно жесткость клетки оценивают **коэффициентом жесткости**, равным

$$C = \frac{P}{Y}, \quad (1)$$

где P – усилие прокатки, N ; y – общая деформация всех элементов рабочей клетки под действием усилия P , мм.

При теоретическом определении жесткости рабочих клеток обычно пренебрегают величиной **жесткости контактов (стыков)** элементов, со-

ставляющих прокатный стан, считая их малыми. Однако в клетях прокатных станов насчитывается более 20 контактирующих тел, за счет чего суммарная упругая деформация стыков контактирующих тел прокатного стана может составить около 15% от общей деформации всех элементов рабочей клетки. Это существенно скажется на величине жесткости рабочей клетки прокатного стана.

Предлагается при аналитическом расчете коэффициента жесткости рабочих клеток прокатных станов учитывать влияние упругих деформаций стыков контактирующих тел рабочих клеток прокатных станов.

С учетом стыков элементов технологической системы формула (1) примет следующий вид:

$$C = \frac{P}{Y + Y_{cm}},$$

где Y_{ct} – суммарная деформация стыков элементов клетки, мм,

$$Y_{cm} = (Y'_{cm} + Y''_{cm})_1 + (Y'_{cm} + Y''_{cm})_2 + (Y'_{cm} + Y''_{cm})_3 + \dots + (Y'_{cm} + Y''_{cm})_n,$$

где $(Y'_{cm} + Y''_{cm})_n$ – сумма упругих деформаций стыков двух контактирующих элементов, составляющих технологическую систему, например: стык «прокатываемая полоса – рабочий валок», стык «рабочий валок – опорный валок», стык «опорный валок – подушка», стык «подушка – подшипник» и т.д.; n – количество стыков.

При взаимодействии элементов технологической системы контактирующие элементы упруго деформируются в пределах величины шероховатого слоя, поэтому

$$Y_{cm} = \frac{R_{max} \cdot P}{E_{ш}},$$

где R_{max} – наибольшая высота неровностей профиля, мкм; $E_{ш}$ – модуль упругости шероховатого слоя, МПа.

Модуль упругости шероховатого слоя зависит от количества материала в шероховатом слое

$$E_{ш} = E \cdot m,$$

где E – модуль упругости материала, МПа; m – относительное количество материала в шероховатом слое.

Распределение материала в шероховатом слое регламентируется опорной кривой микрогеометрии поверхностного слоя по ГОСТ 2789-73. В упругой деформации участвует полный профиль шероховатости, поэтому

$$m = I \cdot \left(\frac{I}{b} \right)^{\frac{1}{v-1}} - \frac{I}{v-1} \cdot \left[1 - 2 \cdot \left(\frac{1}{b} \right)^{\frac{1}{v-1}} \right],$$

где b и v – параметры микрогеометрии поверхности [2].

Значения b и v [1] представлены в таблице.

В пособии [3] приведен пример определения жесткости рабочей клетки кварто 1700 тонколистового стана холодной прокатки с усилием прокатки 20 МН. В результате вычислений без учета жесткости стыков получена величина жесткости клетки $C = 5822,4$ кН/мм.

Используя данные примера, коэффициент жесткости клетки был уточнен с учетом величины жесткости стыков и составил $C = 4963,19 - 6994,99$ кН/мм в зависимости от вида обработки и шероховатости поверхности.

Значения суммарной деформации стыков Y_{cm} (для 18 стыков)
в зависимости от вида обработки

Вид обработки	R_{max} , МКМ	b	v	Y_{cm} , мм	R_{max} , МКМ	b	v	Y_{cm} , мм
	max				min			
Заготовка из стали								
Круглое шлифование	9,37	0,6	2,0	0,15	1,2	2,0	1,5	0,004
Внутреннее шлифование	18,7	0,6	2,0	0,3	2,4	1,4	1,75	0,009
Плоское шлифование	37,5	0,6	2,2	0,6	2,4	2,3	1,65	0,008
Полирование	4,72	2,0	1,7	0,016	1,2	3,5	1,5	0,004
Точение	37,5	1,0	2,1	0,21	4,72	2,0	1,6	0,016
Фрезерование	37,5	0,4	2,2	0,58	9,37	0,6	1,5	0,38
Заготовка из чугуна								
Точение	48,0	1,1	1,9	0,23	7,4	1,5	1,6	0,027
Круглое шлифование	11,5	0,7	1,9	0,107	1,82	1,55	1,7	0,007
Строгание	47,5	0,75	2,2	0,405	6,9	1,65	1,9	0,026
Фрезерование	23,0	0,43	2,0	0,38	6,9	0,75	1,8	0,053

При проведении сравнительной оценки влияния стыков на жесткость рабочей клетки кварто 1700 тонколистового стана холодной прокатки с усилием прокатки 20 МН выявлено, что величина коэффициента жесткости с учетом стыков может отличаться на 20%.

Это говорит о том, что стыки оказывают значительное влияние на жесткость прокатных станов, а соответственно, на точность обработки и качество выпускаемой продукции. Ввиду этого при проведении аналитических расчетов рабочих клетей прокатных станов на жесткость с учетом влияния стыков можно получить параметры, максимально приближенные к действительности, что позволит прогнозировать изменение жесткости прокатного стана в процессе эксплуатации без проведения трудоемких экспериментов. Имея возможность заранее при составлении технологического процесса аналитически оценить жесткость оборудования, можно обеспечить изготовление более качественных изделий.

Список литературы

1. Крагельский И.В., Михин Н.М. Узлы трения машин: Справочник. М.: Машиностроение, 1984. С. 48-49.
2. Огарков Н.Н. Расчет операционного времени процесса электролитического полирования // Современные технологии обработки металлов с применением инструментов из сверхтвердых материалов – новые технологии и направления: сб. науч. тр. Вып. 2. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2009. С. 72-78.
3. Шилов В.А., Инатович Ю.В. Расчеты рабочих клетей прокатных станов (методика и примеры): учеб. пособие. Екатеринбург: УГТУ, 2000. С.59–63.

А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов

МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТАНОВКИ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ ТРИБОСИСТЕМ

Разработана методология постановки краевых задач теории надежности трибосопряжений в виде замкнутой системы дифференциальных уравнений и условий однозначности, которая включает: математическую формализацию базовых понятий теории надежности трибосистем; общую концепцию построения физико-вероятностных моделей; формулирование системы основных уравнений, отличительных признаков, начальных и граничных условий, выделяющих исследуемое трибосопряжение из множества подобных.

Главной проблемой теории надежности машин является предсказание поведения их деталей и узлов в процессе будущей эксплуатации в предполагаемых условиях внешнего воздействия, когда еще на стадии проектирования становится возможным с необходимой степенью достоверности оценить показатели их безотказности и долговечности.

В данной работе на основе математической формализации базовых понятий теории надежности технических объектов (ГОСТ 27.002-89) и единой концепции формирования их постепенных отказов [1–3] сформулирован общий методологический подход к постановке краевых задач теории надежности технических объектов для определения показателей их безотказности и долговечности в виде замкнутой системы уравнений. Полученная система отражает объективные процессы формирования их отказов на основе описания физических закономерностей процесса повреждаемости нагруженных элементов.

В работах [4–7] с использованием указанного подхода сформулирована методология к разработке физико-вероятностных моделей отказов фрикционных сопряжений. Таким образом, с точки зрения теории надежности полученная система уравнений представляет собой физико-вероятностную модель параметрических отказов фрикционных сопряжений, с другой стороны, она определяет постановку краевой задачи математической физики.

В этом случае математическую модель процесса формирования износовых отказов трибосистем по параметру X_t их состояния запишем на основе разработанного методологического подхода [8–10] в виде замкнутой системы дифференциальных уравнений физико-вероятностной модели, в которой кинетическое уравнение повреждаемости записано в явном виде. Оно выведено на основе термодинамического анализа процесса трения как процесса молекулярно-механического взаимодействия трибоэлементов с использованием известных методик для определения входящих в него параметров [8–10].

Для того чтобы из множества возможных решений краевой задачи теории надежности класса произвольных трибосопряжений, описываемой системой, получить одно, удовлетворяющее исследуемому сопряжению, сформулируем дополнительно условия однозначности, которые

включают отличительные признаки объекта, начальные и граничные условия.

$$\left. \begin{aligned}
 & \text{уравнения состояний трибосистемы :} \\
 & X_t = X_0 \pm \int_0^t \dot{Y}_t \cdot dt; \\
 & \text{кинетические уравнения повреждаемости элементов :} \\
 & \dot{Y}_{1,2}(t) = \frac{\alpha_{1,2}^* \cdot v_{1,2} \cdot f_{\text{мех}}(t) \cdot p_a \cdot V_{\text{ск}} - (\Delta H_{S1,2} - u_{e1,2}(0) - \dot{u}_{T1,2}(t)) \cdot Y_{1,2}(t)}{\Delta H_{S1,2} - u_{e1,2}(0) - \Delta u_{T1,2}(t)}; \\
 & \text{условия работоспособности :} \\
 & X_t = X_0 + \int_0^t \dot{Y}_t \cdot dt < x_{np}; \quad X_t = X_0 - \int_0^t \dot{Y}_t \cdot dt > x_{np} \\
 & \text{уравнения для оценки вероятности безотказной работы :} \\
 & P(t) = P(X_t < x_{np}) = P\left(X_0 + \int_0^{t=t_n} \dot{Y}_t \cdot dt < x_{np}\right) = F(x_{np}) \text{ или} \\
 & P(t) = P(X_t > x_{np}) = 1 - P\left(X_0 - \int_0^{t=t_n} \dot{Y}_t \cdot dt < x_{np}\right) = 1 - F(x_{np}); \\
 & \text{уравнения предельных состояний трибосистемы :} \\
 & X_t = X_0 \pm \int_0^t \dot{Y}_t \cdot dt = x_{np}; \\
 & \text{уравнения для оценки гамма - процентного ресурса :} \\
 & t_\gamma = f(X_0, \dot{Y}_t, [P(t)] = \gamma).
 \end{aligned} \right\}$$

1. *Отличительные признаки* (параметры) исследуемого сопряжения, выделяющие его из класса других сопряжений:

- расчетная схема нагружения трибосопряжения;
- конструктивные отличия и характерные особенности взаимодействия элементов;

- выбор контролируемого параметра состояния X_t и назначение скорости повреждаемости сопряжения: $\bar{y} = \bar{y}_{1,2}$, если X_t – линейный размер 1-го или 2-го трибоземента, $\bar{y} = \bar{y}_1 + \bar{y}_2$, если X_t – сочетание размеров элементов;

- числовые характеристики $X_t = X_0$ для выбранного закона распределения параметра трибосопряжения X_t как случайной величины: \bar{x}_0 и σ_{x0} ;

- предельное значение параметра X_t - x_{np} ;

- назначенный ресурс $t = t_n$ при оценке вероятности безотказной работы $P(t)$;

- допустимое значение вероятности безотказной работы $[P(t)] = \gamma$ при оценке гамма-процентного ресурса $t = t_\gamma$.

2. *Начальные условия*, характеризующие состояние трибосистемы в момент времени $T = t_0$ и включающие совокупность значений шести групп исходных параметров:

- параметры внешнего трения: F_n, V_{CK} , (1 группа);

- геометрические характеристики сопряжения, (2 группа);

- микрогеометрические характеристики трущихся поверхностей:

$R_{a1,2min}, R_{a1,2max}, \Delta_{1,2}$, (3 группа);

- физико-механические характеристики материалов трибоэлементов:

$\mu_{1,2}, E_{1,2}, G_{1,2}, \sigma_{нц1,2}, \sigma_{T1,2}, \sigma_{B1,2}, HB_{1,2}, HV_{1,2}, \alpha_{эф1,2}, \rho_{1,2}$, (4 группа);

- теплофизические характеристики материалов ролика и колодки:

$T_{1,2} = T_0, \Delta H_{s1,2}, \lambda_{1,2}, \alpha_{1,2}, c_{1,2}$ (5 группа);

- триботехнические характеристики материалов пары трения: τ_0, β (6 группа);

- плотность $u_{e1,2}(0)$ скрытой энергии материалов поверхностных слоев в исходном состоянии.

3. *Граничные условия*, позволяющие математически описать взаимодействие элементов трибосистемы на границах с окружающей средой в виде уравнений для определения:

$A_a, A_{T1,2}, \alpha_{1,2}^*, p_a(p_{max})$ – номинальной площади контакта, площади дей трения, коэффициента перекрытия и номинального (максимального) давления;

$T_{1,2}(t)$ – изменения во времени температур поверхностных слоев;

$\dot{T}_{1,2}(t) = dT_{1,2}(t)/dt$ – скорость изменения температур поверхностного слоя трибоэлементов в момент времени t ;

$\rho_{1,2}(T_{1,2}(t)), c_{1,2}(T_{1,2}(t))$ – плотность и теплоемкость материала трибоэлементов в момент времени t (при температуре $T_{1,2}(t)$);

$\Delta u_{T1,2}(T_{1,2}(t))$ – изменение плотности кинетической (тепловой) составляющей внутренней энергии разрушаемых к моменту времени t локальных объемов материалов поверхностных слоев трибоэлементов (в продуктах износа), нагретых до $T_{1,2}(t)$;

$\dot{u}_{T1,2}(\dot{T}_{1,2}(t))$ – скорость прироста кинетической составляющей плотности внутренней энергии в разрушаемых локальных объемах поверхностных слоев трибоэлементов, нагретых до температур $T_{1,2}(t)$, в момент времени t ;

$\bar{v}_{1,2}(T_{1,2}(t))$ и $\sigma_{v_{1,2}}(T_{1,2}(t))$ – изменение во времени числовых характеристик коэффициентов преобразования внешней энергии;

$f_{\text{мех}}(t)$ – изменения во времени механической составляющей коэффициента трения.

Выводы. Разработана общая методология постановки краевых задач теории надежности фрикционных сопряжений, которая применена для общей постановки и решения краевых задач теории надежности «стационарных» трибосопряжений, объединяющей:

- вывод кинетического уравнения повреждаемости сопряжений в виде универсальной алгебраической зависимости для оценки скорости линейного изнашивания элементов;

- формулирование замкнутой системы алгебраических уравнений, описывающих процессы формирования параметрических износных отказов «стационарных» трибосистем и одновременно вероятностную природу процесса повреждаемости трибозащитных элементов;

- описание условий однозначности, в которые входят отличительные признаки сопряжения, начальные и граничные условия, выделяющие исследуемый объект из множества подобных.

Список литературы

1. Оценка долговечности нагруженных деталей по кинетическому критерию прочности / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов и др. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й науч.-техн. конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. Т.2. С. 137–141.
2. Методология аналитической оценки надежности технических объектов / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов и др. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й науч.-техн. конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. Т.2. С. 141–144.
3. Методология вероятностной оценки элементов машин по различным критериям / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов и др. // Механическое оборудование металлургических заводов: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. Корчунова А.Г. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. С. 29–37.
4. Прогнозирование надежности трибосопряжений на основе термодинамического анализа процесса трения / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), М.Г. Слободянский и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И.Носова. 2010. №3. С. 54–60.
5. Прогнозирование безотказности трибосопряжений по критерию износостойкости на стадии их проектирования / Анцупов А.В., Анцупов В.П., Анцупов А.В.(мл.) и др. // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2010. №11. С. 38–45.
6. Прогнозирование показателей надежности трибосопряжений / Анцупов А.В., Анцупов А.В.(мл.), Губин А.С. и др. // Материалы 68-й научно-технической конференции: сб. докл. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. С.262–264.
7. Анцупов А.В. Научные и методологические основы прогнозирования параметрической надежности трибосопряжений на стадии проектирования // Современные методы конструирования и технологии металлургического маши-

- ностроения: междунар. сб. науч. тр. / под ред. Н.Н. Огаркова. Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2011. С. 36–39.
8. Методология вероятностного прогнозирования безотказности и ресурса трибосопряжений / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), А.С. Губин и др. // Известия Самарского научного центра РАН. 2011, т. 13, № 4(3). С. 947–950.
 9. Научные и методологические основы прогнозирования надежности трибосопряжений на стадии их проектирования / А.В. Анцупов, М.В. Чукин, А.В. Анцупов (мл.) и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2011. №4. С. 56–61.
 10. Анцупов А.В., Анцупов А.В.(мл.), Анцупов В.П. Методология прогнозирования надежности трибосопряжений // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2012. №2. С.3–9.

УДК 621.97

**В.И. Кадошников, Е.С. Решетникова, И.Д. Кадошникова,
Л.В. Савочкина**

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФЛАНЦЕВЫХ БОЛТОВ

Произведено экспериментальное исследование технологии изготовления фланцевых болтов с формированием шестигранной головки редуцированием. Получены максимальные усилия на всех этапах формирования шестигранной головки болта с фланцем М10 для образцов из сталей 10 и 20Г2Р. Подтверждена эффективность разработанной технологии и конструкции инструмента, определена цель дальнейших исследований.

Фланцевый крепеж имеет в мировой практике самое широкое распространение. Болты, гайки, винты с фланцем позволяют создавать оптимальные контактные напряжения на скрепляемых деталях, уменьшают количество деталей в соединении за счет исключения шайб, позволяют экономить металл. Увеличенная опорная поверхность обеспечивает надежное стопорение при затяжке.

Фланцевые болты производятся на холодновысадочных прессавтоматах, причем способы формирования шестигранной головки болта и фланца различны [1]:

- а) высадка;
- б) обрезка граней головки и фланца;
- в) редуцирование шестигранной головки болта и дальнейшая высадка фланца.

Качество фланцевых болтов, изготавливаемых высадкой, невысокое за счет незаполнения ребер шестигранной головки, что приводит к уменьшению контактной поверхности болтов.

Способ формирования шестигранной головки болта и фланца обрезкой используется для изготовления высококачественных фланцевых болтов для ответственных соединений, но ведет к повышению стоимости продукции за счет низкой стойкости обрезаемых пуансонов и наличия технологических отходов.

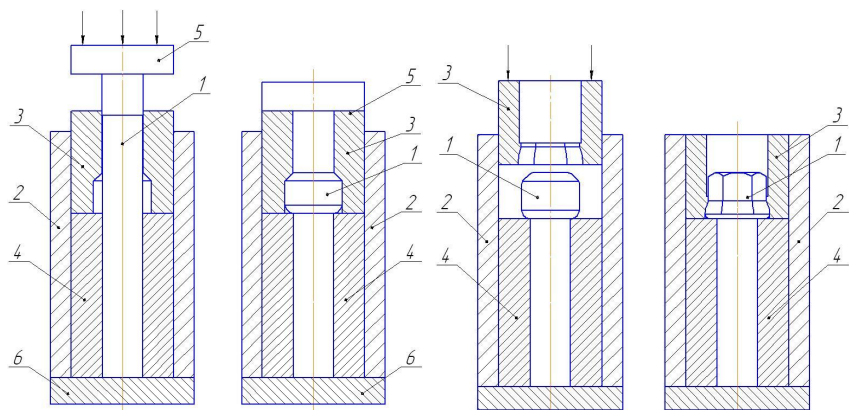
Способ формирования шестигранной головки болта редуцированием с дальнейшей высадкой фланца по сравнению со способами высадки и обрезки наиболее оптимален, так как обеспечивает хорошее оформление головок болтов при низком расходе коэффициента металла и высокой стойкости формообразующего инструмента.

Для изготовления фланцевых болтов способом редуцирования разработана технология и конструкция инструмента, позволяющая изготавливать болты с четким оформлением шестигранной головки болта и фланца [2]. Получены патенты РФ [3,4].

Для экспериментального опробования технологии был изготовлен комплект инструмента и заготовок. Рабочий инструмент – из стали Х12 с термообработкой до твердости 60 HRC, вспомогательный инструмент – из стали Ст3. Материал заготовок – сталь 20Г2Р и сталь 10. Использовались три типа заготовок: а) калиброванный пруток из стали 20Г2Р, б) заготовка из стали 10, разрезанная вдоль с нанесенной в сечении сеткой 1,0×1,2 мм, в) заготовка из стали 10 с цилиндрической головкой, сформированной точением.

Первым этапом на заготовке из калиброванного прутка и заготовке с нанесенной сеткой методом поперечного выдавливания формировалась предварительная цилиндрическая головка (рис. 1). Максимальное усилие процесса – 175 кН.

Далее образцы подвергались редуцированию (рис. 2) в инструменте запатентованной конструкции [2]. Максимальное усилие процесса – 80 кН.



а б
Рис. 1. Схема поперечного выдавливания цилиндрической головки: а – начальный этап выдавливания; б – конечный этап:
1 – заготовка; 2 – стакан;
3 – пуансон; 4 – матрица;
5 – упор; 6 – опора

а б
Рис. 2. Схема редуцирования шестигранной головки болта: а – начальный этап редуцирования; б – конечный этап:
1 – заготовка; 2 – стакан;
3 – пуансон; 4 – матрица

В результате на заготовке из калиброванного прутка головка сформировалась соосно со стержнем, симметрично, однако в нижней части головки имеет место недобор металла до цилиндрической формы. На образце с нанесенной сеткой виден характер деформации заготовки: изгиб заготовки в нижней части головки свидетельствует о максимальной концентрации напряжений, кроме этого на сетке видны максимальные деформации в центре заготовки.

Для всех образцов после редуцирования характерно четкое оформление шестигранной головки. Однако на образце из калиброванного прутка объем металла для высадки фланца в нижней части головки не набран.

На третьем этапе на заготовках высадкой сформировался фланец (рис. 3). Максимальное усилие процесса – 160 кН.

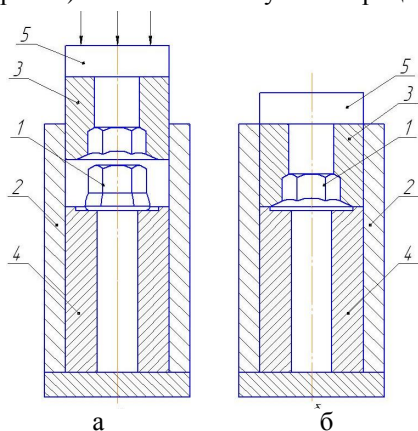


Рис. 3. Схема высадки фланца болта: а – начальный этап высадки; б – конечный этап: 1 – заготовка; 2 – стакан; 3 – пуансон; 4 – матрица; 5 – упор

После высадки на всех образцах получена качественная шестигранная головка, однако фланец на заготовке из калиброванного прутка получился недооформленным – меньшего диаметра, по сравнению с фланцем, сформированном на заготовке с точеной головкой. Недооформление фланца произошло по причине недобора металла до цилиндрической головки на первом этапе.

Вывод. Инструмент для редуцирования шестигранной головки болта разработанной конструкции, применяемый на втором и третьем этапах, обеспечивает четкое оформление шестигранной головки болта с фланцем при меньших усилиях, по

сравнению с высадкой и обрезкой. Однако для получения качественного фланца необходимо определить оптимальную форму головки перед редуцированием на шестигранник и разработать конструкцию инструмента для первого этапа с учетом полученных данных.

Список литературы

1. Кадошников В.И., Решетникова Е.С., Решетникова С.В. Основные технологические процессы производства фланцевых болтов // Современные методы конструирования и технологии металлургического машиностроения: сб. науч. тр. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. С.179–183.
2. Кадошников В.И., Решетникова Е.С., Решетников Л.В. Проектирование инструмента для производства высококачественных фланцевых болтов методом безотходной штамповки // Кузнечно-штамповочное производство. 2008. №5. С.23–26.
3. Пат. 75337 РФ. 2008. БИПМ № 22.
4. Пат. 2385200 РФ. 2010. Бюл. №9.

В.И. Кадошников, В.И. Новиков, Е.В.Куликова

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ДЕФОРМАЦИИ КОЛОНН
КОВОЧНОГО ПРЕССА**

Рассмотрена возможность моделирования теплообмена в рабочем пространстве ковочного пресса, а также тепловой деформации наиболее нагруженных его деталей – колонн.

В условиях действующего производства отсутствует возможность проследить все возможные случаи теплового нагружения оборудования [1,2]. Для этого необходимо моделирование тепловых процессов, происходящих в рабочем пространстве ковочного пресса, а также тепловой деформации его деталей с помощью уменьшенной копии действующего оборудования. Подобное моделирование возможно, т.к. процессы теплообмена и тепловой деформации для модели и реального пресса описываются одинаковыми по форме и структуре уравнениями и условиями однозначности [3]:

1) Определение теплового потока для модели и оригинального пресса [4]

$$q = \sigma_0 E_{\text{пр}} [(t_1 + 273)^4 - (t_2 + 273)^4] (\cos \psi_1 \cos \psi_2 / \pi r^2), \quad (1)$$

где σ_0 – постоянная Больцмана; $E_{\text{пр}}$ – приведенная степень черноты поверхностей; t_1, t_2 – температуры соответственно поверхностей заготовки и колонны; $\cos \psi_1 \cos \psi_2 / \pi r^2$ – среднеугловой коэффициент излучения.

2) Определение тепловой деформации (прогиба) колонны [5]

$$(\omega_{\text{max}})_h = \alpha \Delta T h^2 / d, \quad (2)$$

где h – высота нагретой части колонны; d – диаметр колонны; ΔT – разность температуры с внутренней (обращенной к нагретой заготовке) и внешней стороны колонны; α – коэффициент внешнего теплообмена.

Для проведения дальнейших расчетов введем масштабный коэффициент

$$M_L = r_k^{\text{ориг}} / r_k^{\text{мод}}, \quad (3)$$

где $r_k^{\text{ориг}}$ – радиус колонны оригинала; $r_k^{\text{мод}}$ – радиус колонны модели пресса.

Тепловой процесс, наблюдаемый в рабочем пространстве ковочного пресса, можно перенести на модель пресса, но при этом необходимо, чтобы были выполнены следующие условия: $F_0 = \text{idem}$; $Bi = \text{idem}$, где:

1) критерий Фурье

$$F_0 = \alpha \tau / r_k^2, \quad (4)$$

где α – коэффициент теплового расширения материала колонны; τ – время теплового воздействия на колонны;

2) критерий Био (Bi)

$$Bi = \alpha r_k / \lambda = (r_k / \lambda) / (1 / \alpha), \quad (5)$$

где α – коэффициент внешнего теплообмена; λ – теплопроводность материала колонны.

Выполняя первое условие, для моделирования теплового воздействия нагретой заготовки на детали ковочного прессы необходимо учесть следующее равенство:

$$a^{\text{мод}} \tau^{\text{мод}} / (\Gamma_k^{\text{мод}})^2 = a^{\text{ориг}} \tau^{\text{ориг}} / (\Gamma_k^{\text{ориг}})^2. \quad (6)$$

Из уравнения (6) следует, что для получения температуры поверхности колонны на модели, аналогичной температуре на оригинале, необходимое время эксперимента должно быть равно

$$\tau^{\text{мод}} = \tau^{\text{ориг}} (\Gamma_k^{\text{мод}} / \Gamma_k^{\text{ориг}})^2. \quad (7)$$

Согласно уравнению (7) при моделировании теплового процесса в рабочем пространстве прессы следует ввести масштабный коэффициент по времени

$$M_\tau = \tau^{\text{ориг}} / \tau^{\text{мод}} = 1 / (\Gamma_k^{\text{мод}} / \Gamma_k^{\text{ориг}})^2. \quad (8)$$

Второе условие связано с критерием Био, характеризующимся отношением интенсивности внешнего теплообмена (α) к интенсивности внутреннего теплообмена (λ/R), или отношением термического сопротивления теплопроводности (Γ_k/λ) к термическому сопротивлению конвективной теплоотдачи ($1/\alpha$).

Для подтверждения верности моделирования нагрева колонн в процессековки нагретой заготовки будет достаточным определение, к какому классу, термически «массивному» или «тонкому», относятся колонны модели и оригинала при $\alpha_{\text{окр}}^{\text{мод}} = \alpha_{\text{окр}}^{\text{ориг}} = 1,53 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$.

$$Bi^{\text{мод}} = (\lambda^{\text{мод}} \Gamma_k^{\text{мод}}) / (\alpha_{\text{окр}}^{\text{мод}}) = 3251 > 0,5; \quad (9)$$

$$Bi^{\text{ориг}} = (\lambda^{\text{ориг}} \Gamma_k^{\text{ориг}}) / (\alpha_{\text{окр}}^{\text{ориг}}) = 114 > 0,5. \quad (10)$$

Следовательно, колонны модели и колонны реального прессы относятся к классу термически «массивных» тел. Последствия неравномерного нагрева колонн для модели и оригинала и соответственно перепад температуры по сечению будет идентичным.

Также отметим, что соблюдение равенства $Bi^{\text{мод}} = Bi^{\text{ориг}}$ при моделировании теплового процесса затруднительно. Трудность заключается в том, что используя для изготовления деталей модели материал с теплопроводностью, удовлетворяющей требованиям $Bi^{\text{мод}} = Bi^{\text{ориг}}$, мы не в состоянии будем обеспечить равенство коэффициентов теплового расширения для материала модели и оригинала. Обеспечение внешнего теплообмена α , удовлетворяющего требованиям $Bi^{\text{мод}} = Bi^{\text{ориг}}$, также затруднительно. В связи с чем достаточным будет обеспечить контроль температуры поверхности колонны на модели, при проведении эксперимента, и определение величины деформации при условии:

$$\tau_{\text{пов}}^{\text{ориг}} = \tau_{\text{пов}}^{\text{мод}}. \quad (11)$$

Анализируя уравнение (2) для определения тепловой деформации (прогиба) колонны, с учетом того, что коэффициент теплового расширения и тепловое состояние поверхности колонн модели и реального прессы одинаковы, целесообразно говорить о том, что величина прогиба будет

зависеть от соотношения $\frac{h^2}{d}$ для модели и оригинала:

$$(\omega_{\max})_h^{\text{мод}} = \alpha \Delta T h_k^{\text{мод}^2} / d_k^{\text{мод}}; \quad (12)$$

$$(\omega_{\max})_h^{\text{ориг}} = \alpha \Delta T h_k^{\text{ориг}^2} / d_k^{\text{ориг}}. \quad (13)$$

Условия подобия тепловых процессов, в рабочем пространстве описанные выше и, как показано, идентичные, убираем. Таким образом, остается геометрическое подобие зоны нагрева и диаметра колонны модели и оригинала.

При высоте зоны нагрева и диаметра колонн, уменьшенных в 30 раз, получаем:

$$(\omega_{\max})_h^{\text{ориг}} = (\omega_{\max})_h^{\text{мод}} ((h_k^{\text{ориг}^2} / d_k^{\text{ориг}}) / (h_k^{\text{мод}^2} / d_k^{\text{мод}})) = 30 (\omega_{\max})_h^{\text{мод}}. \quad (14)$$

С учетом всего вышеизложенного была изготовлена лабораторная установка, имитирующая станину пресса, уменьшенную в 30 раз. С использованием уменьшенной модели был произведен ряд исследований: изменение температуры поверхности колонн в зависимости от расположения нагретой заготовки в рабочем пространстве, характер тепловой деформации колонн при их неравномерном нагреве, определения эффективности различного рода завес (кожухов). Проведенные исследования позволили разработать ряд мероприятий, направленных на исключение повреждения колонн, снижение вероятности аварий, снижение износа деталей пресса и повышение качества получаемых поковок.

Список литературы

1. Новиков В.И., Кадошников В.И., Куликова Е.В. Влияние температуры нагретой заготовки на температурную деформацию деталей гидравлического ковочного пресса // КИП. ОмД. 2012. №1. С. 32–36.
2. Новиков В.И., Кадошников В.И. Исследование условий эксплуатации ковочных прессов // Четвертый международный промышленный форум: «Реконструкция промышленных предприятий – прорывные технологии в металлургии и машиностроении»: сб. докл. Магнитогорск, 2011. С. 129–131.
3. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1977. 440 с.
4. Блох А.Г., Журавлев Ю.А., Рыжков Л.Н. Теплообмен излучением. М.: Энергоатомиздат, 1991. 432 с.
5. Расчеты на прочность, устойчивость и колебания в условиях высоких температур / Н.И. Безухов [и др.]. М.: Машиностроение, 1965. 567 с.

УДК 621.771

С.И. Платов, Р.Р. Дема, У.Д. Мартынова, Р.Н. Амиров

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕКУЩЕГО ПРОФИЛЯ РАБОЧИХ ВАЛКОВ КЛЕТИ «КВАРТО»

Рассмотрена проблема повышения ресурсоэффективности формообразующих инструментов станов горячей прокатки. Разработана нейросетевая модель прогнозирования конечного профиля рабочих валков чистовой группы НШСГП «2000» с учетом влияния смазочного материала на параметры процесса.

Черная металлургия является одной из крупнейших отраслей мировой и отечественной промышленности. Актуальной проблемой экономики данной отрасли является поиск путей снижения энерго- и ресурсозатрат как способа повышения конкурентоспособности предприятий. Сокращение потерь и нерациональных расходов ресурсов позволит обеспечить снижение удельных затрат выпуска готовой продукции.

Одним из способов повышения энергоэффективности процесса обработки металлов давлением и увеличения ресурса формообразующего инструмента является введение в технологию производства смазочного материала. В 2008 году в рамках непрерывного широкополосного стана горячей прокатки «2000» ЛПЦ № 10 ОАО «ММК» была впервые в России установлена и испытана система MIDAS подачи водно-масляной дисперсии на опорные валки трех клетей чистовой группы стана. На сегодняшний день СТС работает в постоянном режиме. Предыдущие исследования данного вопроса позволили установить эффективность влияния технологической смазки на снижение энергосиловых параметров всех клетей чистовой группы. Кроме того, были получены экспериментальные данные, подтверждающие снижение интенсивности износа формообразующих инструментов стана. Несмотря на это, в настоящий момент стан продолжает эксплуатироваться по старым технологическим инструкциям. Это связано с тем, что увеличение межперевалочного периода эксплуатации стана возможно только в случае гарантии обеспечения требуемого качества продукции по плоскостности и поперечному сечению. Стоит отметить, что существенное влияние на качество горячекатаной полосы оказывает состояние валковой системы клетей. Форма активной образующей рабочих валков в процессе прокатки подвергается значительному изменению, в связи с чем разработка математической модели, позволяющей прогнозировать износ рабочих валков во времени, сейчас является одной из наиболее актуальных задач. Описать процесс износа валков крайне важно, но достаточно сложно в связи с наличием большого количества влияющих факторов. При этом необходимо также учитывать применения в процессе горячей прокатки технологической смазки, которая не только способствует увеличению предельного срока службы валков, но и оказывает значительное влияние на энергосиловые параметры процесса. Применение нейросетевого моделирования в рассматриваемой задаче позволит существенно снизить ошибки прогнозирования текущего профиля рабочих валков, а благодаря механизму самообучения нейросети позволяют более точно описывать нелинейные связи параметров модели и учитывать фактор неопределенности, вызванный наличием большого количества влияющих факторов.

Для построения этой модели прогнозирования конечного профиля использовались переменные, указанные на рис. 1. В модели учитывались как количественные переменные, которые условно можно разделить на переменные, характеризующие условия процесса горячей прокатки (расчетные), и переменные, характеризующие размерные параметры и механические свойства металла в монтаже, так и качественные переменные. В качестве значений переменной «сила тока» (I , А) рассматривались прогнозные значения, рассчитанные на основе нейросетевой модели, полученной на предыдущих этапах исследования [1, 2]. Количественные переменные были взяты

в модели как средневзвешенные по длине прокатываемого металла с заданными характеристиками для различных монтажей и как накопленная сумма, взвешенная по длине монтажа. Включение в модель качественных переменных позволило повысить ее качество за счет учета различий, фиксация которых в количественных переменных затруднена либо невозможна.

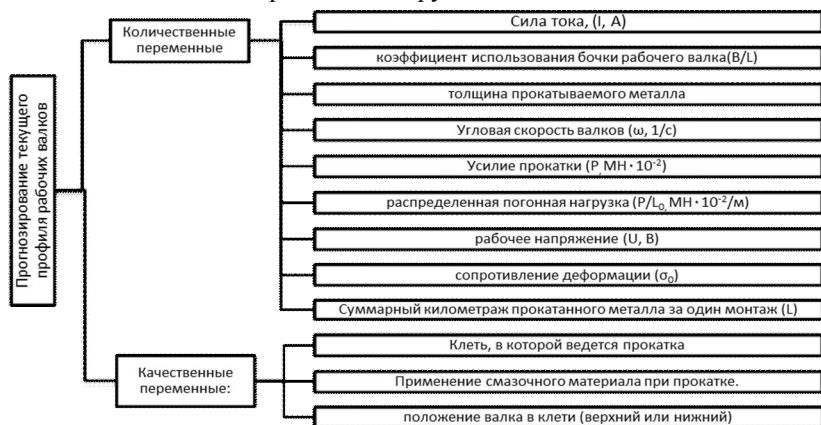


Рис. 1. Экзогенные переменные в модели для прогнозирования текущего профиля рабочих валков клетки «кварто»

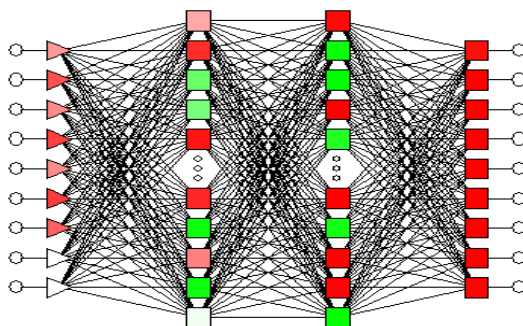


Рис. 2. Архитектура нейронной сети для прогнозирования формы активной образующей рабочих валков

Архитектура нейронной сети, показавшей наименьшие прогнозные ошибки, представлена на рис. 2. Выбранная нейронная сеть представляет собой многослойный персептрон, состоящий из входного слоя (9 нейронов), двух скрытых слоев (содержащих по 15 нейронов каждый) и выходного слоя, содержащего 9 нейронов.

Таким образом, в ходе исследования была получена модель, позволяющая прогнозировать конечный профиль рабочих валков в клетях числовой группы НШСП «2000». Пример значения фактического и про-

гнозного профиля изношенного рабочего валка, рассчитанного на основе нейросетевой модели при прокатке типового монтажа для клетки №7, представлены на рис. 3,4.

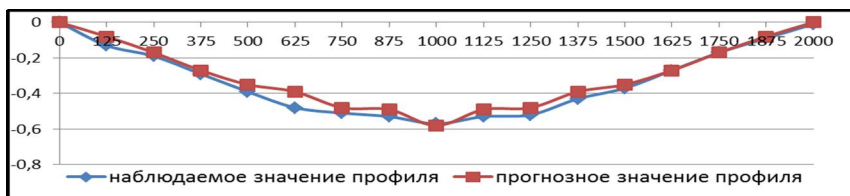


Рис. 3. Прогнозирование профиля верхнего рабочего валка при использовании смазочного материала для клетки №7

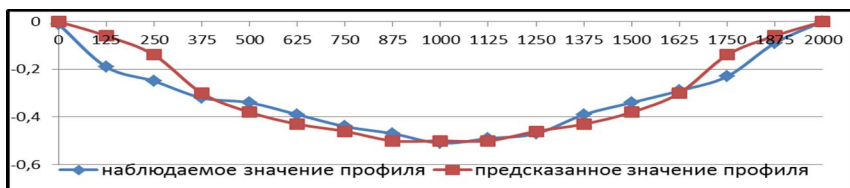


Рис. 4. Прогнозирование профиля нижнего рабочего валка при использовании смазочного материала для клетки №7

Полученные модели обладают высокой точностью (85–90%), но, несмотря на это, возможно их усовершенствовать путем введения дополнительных переменных и исключения тех переменных, которые не вносят значимого вклада в прогностическую способность модели. Перспективным направлением в данной области является получение динамической модели прогнозирования текущего профиля рабочих валков. Получение данной модели является наиболее значимой задачей исследования, так как внедрение подобной модели в технологическую линию НШСГП «2000» в ОАО «ММК» позволит усовершенствовать систему управления станом, путем оперативного контроля за состоянием валковых систем чистовой линии клетей.

Список литературы

1. Применение нейронных сетей для моделирования энергосиловых параметров клетей чистовой группы НШСГП 2000 ОАО «ММК» / Платов С.И., Мартынова У.Д., Дема Р.Р., Амиров Р.Н. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. № 2 (38). С. 102–103.
2. Использование методов нейронной сети для прогнозирования энергосиловых параметров процессов горячей прокатки при подачи смазочного материала / Дема Р.Р., Мартынова У.Д., Амиров Р.Н., Ярославцев А.В. // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: междунар. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Салганика. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос.техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2012. С. 101–103.

О.С. Железков, С.А. Малаканов, И.Ш. Мухаметзянов, В.В. Карпец

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ТРАПЕЦЕИДАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ВОЛОЧЕНИЕМ В МОНОЛИТНЫХ И РОЛИКОВЫХ ВОЛОКАХ*

Актуальной проблемой при изготовлении проволоки трапецевидного сечения является необходимость обеспечения точности ее размеров. Недостаточное знание закономерностей формоизменения заготовки при волочении трапецевидной проволоки не позволяет обеспечить повышение ее качества и уменьшение энергосиловых затрат процесса изготовления. В статье представлены результаты компьютерного конечно-элементного моделирования процесса волочения трапецевидной проволоки через монолитную и роликковую волоку, на основе которых возможно решение обозначенных проблем.

В рельсовых скреплениях полотна железных дорог широко применяются путевые пружинные шайбы по ГОСТ 19115-91. Одним из основных требований, предъявляемых к шайбам, является точность ее геометрических параметров. Данное требование обеспечивается прежде всего геометрическими параметрам заготовки – проволоки трапецевидного сечения по ГОСТ 11850-72 из сталей марок 40С2А, 65Г.

Одним из основных способов получения проволоки трапецевидного сечения является процесс волочения в монолитных волоках. Волочение в монолитных волоках связано со значительными трудозатратами из-за малых степеней деформации и низкой стойкости инструмента [1]. Это обусловлено значительными силами трения при течении деформируемого металла относительно неподвижной поверхности инструмента. В связи с этим актуальной является задача поиска рациональных геометрических параметров рабочего канала волоки, позволяющих получать требуемые геометрические параметры при минимальных энергосиловых затратах.

Развитие производства калиброванного металла определяет необходимость совершенствования процессов производства и конструкции инструмента. Одним из прогрессивных направлений является волочение металла в роликковых волоках [2]. Широкое использование данного способа волочения сдерживается рядом факторов, главный из которых – отсутствие относительно простых и, как следствие, надежных конструкций роликковых волок и методик проектирования технологий роликкового волочения. На наш взгляд, наиболее простой конструкцией роликковой волоки является сдвоенный комплект смещенных относительно оси волочения пар роликов, поэтому дальнейшие исследования посвящены изучению процесса деформирования заготовки именно в этой волоке.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Минборнауки РФ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг. Соглашение 14.В37.21.1135 от 17.09.2012.

Недостаточное знание закономерностей формоизменения заготовки при волочении трапецевидной проволоки в монолитных и роликовых волоках связано прежде всего с ограниченным числом его теоретических и экспериментальных исследований. Наиболее полно исследовать напряженно-деформированное состояние металла при волочении возможно с применением современных методов исследования – компьютерного моделирования, основанного на использовании метода конечных элементов [3].

Используя программный комплекс «DEFORM-3D», в основу которого положен метод конечных элементов, выполнено моделирование процесса волочения трапецевидной проволоки 10 из заготовки круглого сечения диаметрами 12, 13, 14 мм в монолитной волоке и роликовой волоке.

При моделировании использовали следующие допущения: процесс является изотермическим; материал заготовки изотропный, пластический; заготовка не имеет внутренних и внешних дефектов; силы внешнего трения учитываются применением закона полусухого трения Кулона-Амонтона; условие пластичности по Губеру-Мизесу; эволюция микроструктуры не учитывается; все объекты, кроме заготовки, несжимаемые (абсолютно жесткие). Реологические свойства стали марки 65Г задавались по данным, изложенным в работе [4].

На основании выполненных расчетов получена информация о напряженно-деформированном состоянии в очаге деформации, энергосиловых параметрах процесса волочения и геометрических параметрах получаемой проволоки.

В частности, на рис.1 показаны поля интенсивности напряжений в очагах деформации при волочении в монолитной волоке (рис. 1, а) и первой паре роликов в роликовой волоке (рис. 1, б).

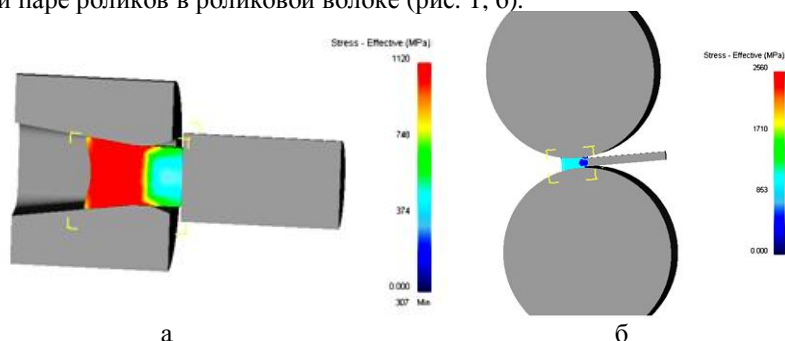


Рис. 1. Поля интенсивности напряжений при волочении трапецевидной проволоки в монолитной и роликовой волоках

На рис. 2 представлен график изменения усилия волочения (P) трапецевидной проволоки в зависимости от диаметра заготовки (d) при ее волочении через монолитную волоку.

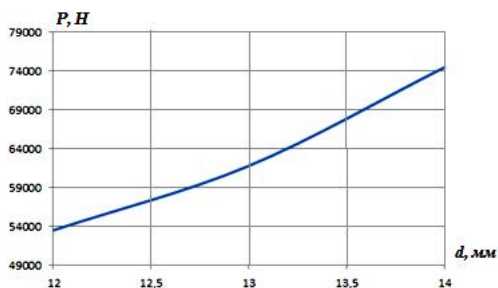


Рис. 2. Зависимость усилия волочения заготовки (P) от ее диаметра (d) при деформировании в монолитной волоке

На рис. 3 показана зависимость усилия волочения трапецевидной проволоки (P) из заготовки диаметром 13 мм от высоты (h) промежуточной заготовки после деформирования в первой паре роликов.

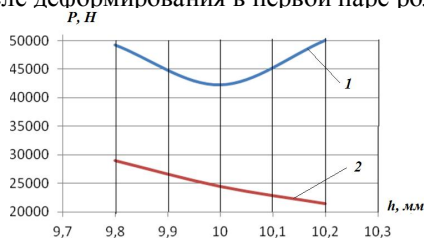


Рис. 3. Зависимость усилия волочения трапецевидной проволоки (P) от высоты (h) промежуточной заготовки после деформирования заготовки диаметром 13 мм: 1 – во второй паре роликов; 2 – в первой паре роликов

Проведенные исследования позволили определить рациональный диаметр заготовки и величину обжатия заготовки в первой паре роликов с точки зрения обеспечения требуемой геометрии и минимальных энергосиловых затрат процесса волочения.

На основе выполненных исследований планируется определить рациональные геометрические параметры рабочего канала монолитной проволоки (углы наклона образующих, длины обжимной и калибрующих зон) и разработать новую конструкцию второй пары деформирующих роликов проволоки, обеспечивающую создание более благоприятных условий для заполнения металлом калибра.

Список литературы

1. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. М.: Металлургия, 1971. 447 с.
2. Славин В.С., Бричко А.Г. Методика аналитического описания геометрии очага деформации при волочении арматурной проволоки в калибре со смещенными парами роликов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И.Носова. 2013. №2. С.37-44
3. Галлагер Р. Метод конечных Элементов. Основы: пер. с англ. М.: Мир, 1984. 428 с.
4. Кроха В.А. Упрочнение металлов при холодной пластической деформации. Справочник. М.: Машиностроение, 1980. 157 с.

О.С. Железков, М.С. Миронов, Е.П. Кашапова

ИСПЫТАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩИМСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМ СИНТЕЗОМ

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) является высокоэффективным методом получения композиционных материалов для внепечного легирования сталей. Материалы, полученные СВС, после спекания подвергаются дроблению до порошкообразного состояния. На процессы дробления существенное влияние оказывают механические свойства (предел прочности и др.) материалов, которые необходимо знать для определения рациональных режимов дробления.

Технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) основана на сжигании порошковой шихты (смеси исходных материалов в определенных пропорциях) в специальных реакторах. Первоначально материалы в требуемых пропорциях смешивают в смесителях, после чего тщательно перемешанную смесь первичных компонентов засыпают в реакторы и спекают при показателях температуры и давления, соответствующих получению данного материала. В процессе спекания материала осуществляется самораспространяющийся высокотемпературный синтез новых продуктов. В общем виде этот процесс представляет собой «волну горения», которая захватывает всё новые объёмы доступного материала. Самораспространяющийся характер волны является отличительной особенностью СВС синтеза и исключает необходимость постоянного поддержания температуры горения внешними источниками, поскольку достаточно первоначальной инициации процесса – поджига.

В условиях ООО НТПФ «Эталон» (г. Магнитогорск) процесс СВС применяется при производстве новых высокоэффективных композиционных материалов для внепечного легирования сталей широкого профиля (трансформаторной, низколегированной, рельсовой и др.). После спекания в реакторе материалы подвергаются дроблению с использованием дробилок и мельниц. Для определения рациональных режимов дробления и прогнозирования сроков службы рабочего инструмента дробильного оборудования необходимо иметь информацию о механических свойствах материалов, полученных с использованием процесса СВС.

Испытания механических свойств материалов (нитрид ферросилиция NitroFesil®; нитрид феррохрома ФХН 10, ФХН9; нитрид силикомарганца Mn60C15H15; нитрид феррованадия Fervanit®) проводились в лаборатории института горных технологий и транспорта ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова» с использованием гидравлический пресс ПСУ–125. В соответствии с ГОСТ 21153.2-84 «Метод одноосного сжатия образцов правильной формы плоскими плитами» изготавливались образцы правильной кубической формы, с длиной стороны 50 мм. Подготовка образцов осуществлялась на аппарате гидроабразивной резки (ГАР). Принцип действия аппарата заключается в воздействии на обрабатываемый материал струёй воды, сме-

шанной с песком (гранатовый абразив), с высокой скоростью и давлением 400 МПа, что обеспечивает ровный рез и высокое качество обработанных поверхностей изготовленных образцов. Для чистоты эксперимента образцы вырезались как из срединной части готового спёка, так и из крайних его частей, где он имеет более прочную структуру и более подвержен трещинообразованию. Наибольшую трудность составила подготовка образцов из нитрида феррохрома и нитрида феррованадия. Это связано с тем, что данные материалы наиболее металлизированы по своей структуре. Процентное содержание в них металлических включений 80–85 и 80–90% соответственно, что существенно затрудняло изготовление образцов.

Кроме механических параметров материалов, полученных с использованием СВС, экспериментально определялись плотность, влажность и пористость. Обработанные результаты экспериментов представлены в таблице.

Результаты испытаний материалов, полученных СВС

Наименование материала	Плотность частиц, г/см ³	Плотность материала, г/см ³	Влажность, %	Пористость, %	Предел прочности на сжатие, МПа
Нитрид ферросилиция NITRO-FESIL®	3,01	2,07	0	31	35
Нитрид феррохрома ФХН-10	6,58	5,46	0	17	97,16
Нитрид силикомарганца Mn60C15H15	4,59	2,88	0	37	11,60
Нитрид феррованадия ФВ37Н9	5,53	4,96	0	10	63,81

Результаты экспериментов показали, что наибольшими значениями предела прочности на сжатие обладают более металлизированные материалы: нитрид феррохрома и нитрид феррованадия – 97,16 и 63,81 МПа соответственно. В дальнейшем полученные данные предполагается использовать при поиске рациональных режимов переработки легирующих материалов на специализированном дробильном оборудовании (щековые дробилки, вибрационные мельницы и пневмоциркуляционные аппараты).

УДК 621.5

Р.Н. Савельева, В.П. Анцупов, К.В. Чернов

ПОВЫШЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ОПОРНО-УПОРНОГО ПОДШИПНИКА ВОЗДУШНОГО КОМПРЕССОРА К-1500 и К-3000 КИСЛОРОДНОГО ЦЕХА ОАО «ММК»

Для повышения срока службы опорно-упорного подшипника воздушных компрессоров предлагается применение упорного подшипника, представляющего собой стальную подложку с нанесенным на нее полимерным покрытием – композитом на основе полиэфирэфиркетона с упрочняющими добавками (наполнителями) для повышения износостойкости. Проведено исследование влияния наполнителей на трибологические характеристики полимерного покрытия.

Компрессор К-1500 (К-3000) предназначен для сжатия и подачи атмосферного воздуха на установки разделения воздуха кислородного цеха.

Подшипник со стороны всаса компрессора – опорный, со стороны нагнетания компрессора – опорно-упорный.

Износ опорно-упорного подшипника – первая причина выхода из строя воздушных компрессоров К-1500 и К-3000, установленных в кислородном цехе ОАО «ММК». Повреждения опорно-упорных подшипников скольжения происходят, главным образом, от увеличения осевых усилий вследствие:

- 1) несоответствующего качества баббита, отличного от Б-83;
- 2) некачественной заливки баббитом подшипников;
- 3) применения некачественного масла и забивки шламом каналов, подводящих смазочный материал в узел трения;
- 3) дефектов упорно-упорных подшипников.

Опорно-упорный подшипник скольжения содержит обойму и сопряженный с ней по сферической поверхности вкладыш. Вкладыш (рис.1) содержит баббитовый слой, образующий опорную поверхность, и закрепленные на одном из его концов пакеты упорных (рабочих) колодок, взаимодействующие с упорным диском вала и воспринимающие осевое давление ротора компрессора, не разгруженное думмисом.



Рис.1. Верхний и нижний вкладыши опорно-упорного подшипника

Масло для смазывания упорных колодок опорной поверхности подшипников подается из маслосистемы в нижние половины вкладышей через дроссельные шайбы под давлением 70–85 кПа. Маслосистема агрегата принудительная, циркуляционная. Для смазывания применяется турбинное масло Т-22. Чтобы обеспечить правильную работу подшипника, между шейкой вала и вкладышем подшипника предусматривается зазор.

В подшипниках скольжения при смещении трущихся поверхностей реализуется режим гидродинамической смазки, т.е. полном разделении трущихся поверхностей слоем жидкого смазочного материала.

На рис. 2 и 3 представлены схемы поведения деталей подшипника скольжения при изменении скорости вращения вала.

Чтобы не допустить сухого трения, поверхность шейки вала шлифуют, а расточки вкладыша шабруют. Неровности на этих поверхностях недопустимы, так как они уменьшают толщину масляного слоя и могут привести к сухому трению.

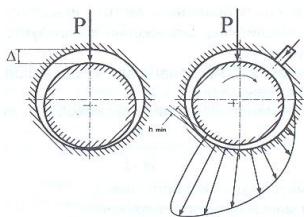


Рис. 2. Схема возникновения масляного слоя в подшипнике: а – отсутствие вращения вала; б – вращающийся вал

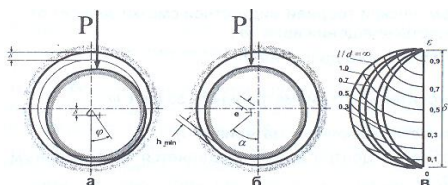


Рис. 3. Положение вала в подшипнике: а – момент трогания; б – установившийся режим; в – изменение положения центра вала в подшипнике (полукуруг Гюмбеля)

Поверхность вкладыша, на которой образуется масляная пленка, должна быть гладкой, так как наличие канавок на ней приводит к резкому изменению давления масла и нарушает правильную работу подшипника, уменьшая его несущую способность.

Вкладыши турбинных подшипников заливают специальным высокооловянистым баббитом Б-83 следующего состава: 83% олова, 11% сурьмы и 6% меди.

К сожалению, баббитовая заливка очень подвержена абразивному изнашиванию, её долговечность невысока. Поэтому становится актуальным применение для упорных подшипников других материалов, а именно таких, которые предназначены для работы в сложных условиях (абразивное изнашивание, ударные нагрузки, вибрации, сухое трение, высокие температуры и частота вращения).

Для таких условий можно порекомендовать применение упорных подшипников, представляющих собой стальную подложку с нанесенным на нее полимерным покрытием. Сталь придает материалу высокую прочность и стабильность размеров, а полимерное покрытие обеспечивает приработку трущихся поверхностей и предотвращает повреждение поверхностей при нарушении целостности слоя граничной смазки.

Сочетание превосходных термомеханических свойств наряду с хорошими характеристиками трения и износостойкости приводит к тому, что незаменимыми трибоматериалами в условиях высоких температур являются композиты на основе полиэфирэфиркетона (ПЭЭК). Испытания на стойкость к ударным воздействиям ПЭЭК показали, что композиты с содержанием ПЭЭК обладают большой ударной прочностью.

Для повышения износостойкости в ПЭЭК следует ввести упрочняющие добавки – наполнители. Необычной способностью уменьшать износ полимеров обладает политетрафторэтилен (ПТФЭ). К тому же ПТФЭ значительно снижает коэффициент трения. Такое же положительное влияние оказывает на ПЭЭК и другой наполнитель – карбид кремния.

Исследование влияния наполнителей на трибологические характеристики полимерного покрытия позволило сделать следующие выводы:

1. Увеличение содержания карбида кремния SiC приводит к постепенному уменьшению коэффициента трения материала. Самый низкий

коэффициент трения наблюдается, когда содержание карбида кремния достигает 9,40%.

Однако было также обнаружено, при содержании карбида кремния в диапазоне от 1,06 до 3,3% интенсивность изнашивания достигает самого низкого значения и практически не меняется. Когда количество карбида кремния превышает 4,4%, интенсивность изнашивания начинает линейно возрастать.

Чтобы композит обладал наилучшим сочетанием коэффициента трения и интенсивности изнашивания, содержание карбида кремния должно быть равно 3,3%.

2. При содержании ПТФЭ ниже 5% интенсивность изнашивания материала резко уменьшается. Когда количество ПТФЭ находится в пределах от 5 до 20%, интенсивность изнашивания уменьшается медленно по мере увеличения ПТФЭ. Наименьшая интенсивность изнашивания композита наблюдается при содержании ПТФЭ 20%, выше 20% она возрастает, хотя и остается более низкой по сравнению с чистым ПЭЭК.

Когда небольшое количество ПТФЭ (1-5%) вместе с карбидом кремния (3,3%) добавляют к ПЭЭК, коэффициент трения композита SiC–ПТФЭ–ПЭЭК резко увеличивается. Однако, как только количество ПТФЭ превышает 5%, коэффициент трения SiC–ПТФЭ–ПЭЭК медленно уменьшается и достигает своего наименьшего значения, когда количество ПТФЭ равно 40%.

Наилучшие значения коэффициента трения и интенсивности изнашивания будут наблюдаться при содержании 20% ПТФЭ в композите ПТФЭ–ПЭЭК–SiC.

Материал SiC (3,3%)–ПТФЭ (20%)–ПЭЭК работоспособен в широком диапазоне температур (-100...+300°C), скоростей и нагрузок, работает без смазки, с традиционными смазочными материалами и с жидкостями, не обладающими смазочными свойствами (топливом, водой, растворителями). Материал фреттингоустойчив и не повреждает сопряженную стальную поверхность при тяжелых и аварийных режимах работы.

Таким образом, нанесение рассмотренного полимерного материала на стальное основание позволяет получить опорно-упорный подшипник, отличающийся более высоким сроком службы.

УДК 621.771.07 621.82.2

**Ю.В. Жиркин, Е.И. Мироненков, Н.Л. Султанов,
Р.Р. Юсупов, М.А. Шленкина**

ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДАЧИ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА В ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ ТЯНУЩИХ РОЛИКОВ СТАНА 2000 Х/П ОАО «ММК»

В работе рассмотрена возможность повышения эффективности системы смазывания подшипников качения тянущих роликов при различной скорости прокатки с определением коэффициента охлаждения и использованием уравнения теплового баланса.

Для обеспечения качества готовой продукции, соответствующего всем современным требованиям, необходимо учитывать надежную работу механического оборудования. Повышение надежности оборудования является приоритетным направлением при производстве холоднокатаной продукции. Одним из параметров, влияющих на надежность оборудования, является ресурс узлов трения подшипников качения.

При эксплуатации основного и вспомогательного оборудования стана 2000 холодной прокатки, мнемосхема которого представлена на рис.1, для скорости прокатки свыше 1000 м/мин, возникла проблема нагрева подшипниковых узлов тянущих роликов с неприводной стороны [1].

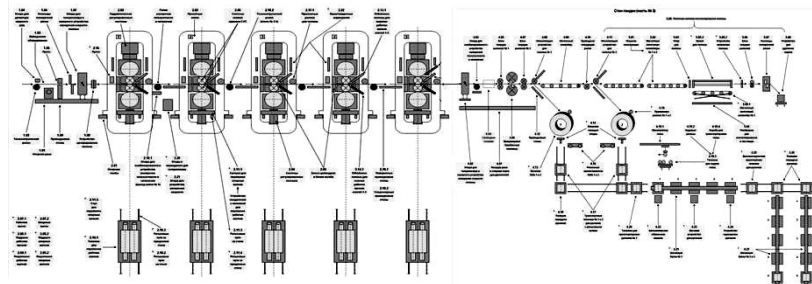


Рис. 1. Мнемосхема стана 2000 холодной прокатки

Рассмотрев существующую проблему, был сделан вывод о том, что из-за увеличения скорости и натяжения полосы, наматываемой на моталку, смазочный материал не доходил до 2-го ряда роликов подшипника, что вело к нарушению теплового баланса и соответственно перегреву (рис. 2).



Рис. 2. Подушка тянущего ролика

Для решения данной задачи необходимо выяснить картину теплообмена в подшипниках качения. Для этого был рассмотрен отдельно нагрев каждого элемента подшипника качения (рис. 3) [2].

Проведя анализ, были сделаны выводы о том, что внутреннее кольцо и ролик нагреваются незначительно и в этих зонах не происходит перегрева. А вот внешнее кольцо имеет постоянную зону контакта, которая подвергается перегреву. Вследствие этого возникла необходимость в восстановлении теплового баланса в подшипниковых узлах.

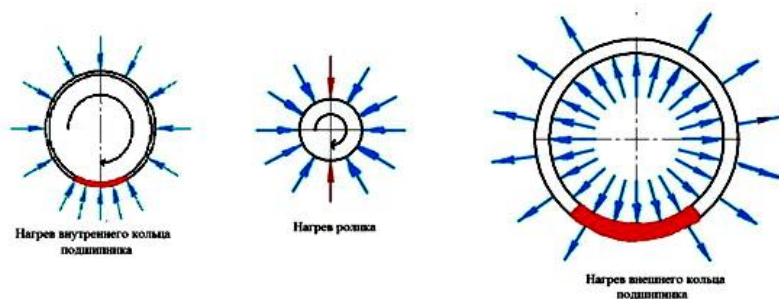


Рис. 3. Нагрев каждого элемента подшипника качения

Общее уравнение теплового баланс имеет вид [3,4]:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3.$$

Для определения количества тепла, образующегося в подшипнике за счет сил трения в секунду:

$$Q_1 = f \cdot F_n \cdot v,$$

где f – коэффициент трения; F_n – нагрузка; v – окружная скорость вала подшипника.

Количество тепла, отводимого нагретым маслом в секунду, определяется из зависимости

$$Q_2 = c \cdot \rho \cdot V (\theta_{\text{ВЫХ}} - \theta_{\text{ВХ}}),$$

где c – теплоемкость смазочного материала; ρ – плотность смазочного материала; V – объем масла, прокачиваемый через подшипник в единицу времени; $\theta_{\text{ВЫХ}}$, $\theta_{\text{ВХ}}$ – температура смазочного материала на выходе и входе в подшипник.

Количество тепла, отводимого путем конвекции корпусом подшипника:

$$Q_3 = \alpha_s \cdot A (\theta_{\text{П}} - \theta_{\text{В}}),$$

где α_s – коэффициент конвективной теплоотдачи; A – площадь поверхности подшипника; $\theta_{\text{П}}$, $\theta_{\text{В}}$ – температура корпуса подшипника и окружающего воздуха.

В дальнейшем также был произведен расчет коэффициента охлаждения, который определяет количество тепла, которое должно быть отведено от подшипника для понижения разницы температур между подшипником и окружающей средой на один градус [5]:

$$W_s = N_R / \Delta T,$$

где ΔT – рост температуры, °C; N_R – потери мощности, Вт; W_s – коэффициент охлаждения, Вт/°C.

Величину потерь мощности в подшипнике вследствие трения можно вычислить по формуле

$$N_R = 1,05 \cdot 10^{-4} M \cdot n,$$

где N_R – потери мощности, Вт; M – общий момент трения подшипника, Н*мм; n – частота вращения, об/мин.

По результатам расчетов было принято, что одним из решений проблемы и обеспечения необходимого ресурса является увеличение количества подаваемой охлаждающей среды, за счет сокращения цикла подачи со 164 до 28 с. После этого перегрев роликов на некоторое время прекратился, однако спустя время произошло еще два отказа, и при вскрытии подшипникового узла было выявлено, что ролики внутренней дорожки изнашиваются меньше, чем внешней на 10–20% предположительно из-за неравномерного распределения смазочного материала по беговым дорожкам. Поэтому также была произведена реконструкция подушек тянущих роликов для приближения зоны подачи смазочного материала к наружной дорожке, а именно старое отверстие было заглушено и просверлено новое, которое позволяет подавать смазочный материал между роликами непосредственно в зону контакта и распределять его равномерно по всем роликам. Проведенная реконструкция подушек тянущих роликов позволила исключить аварийные отказы подшипниковых узлов, что привело к снижению внеплановых простоев на 8 ч в год.

Список литературы

1. Мироненков Е.И., Жиркин Ю.В., Султанов Н.Л. Разработка методики контактно-гидродинамического расчета подшипников качения // Новые технологии в машиностроении 2012. №15. С.157–159.
2. Коднир Д.С., Жильников Е.П., Байбородов Ю.И. Эластогидродинамический расчёт деталей машин. М.: Машиностроение, 1988. 160 с.: ил.
3. Пенкин Н.С., Пенкин А.Н., Сербин В.Н. Основы трибологии и триботехники: учеб. пособие. М.: Машиностроение, 2008. 206 с.: ил.
4. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. М.: Энергия, 1977. 344 с.: ил.
5. Общий каталог по подшипникам качения: справ. пособие. SKF. М., 2009. 120 с.

УДК 621.86

В.В. Точилкин, А.В. Шадрин

РАЗРАБОТКА МАНИПУЛЯТОРОВ С ГИБКИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ МАШИН И АГРЕГАТОВ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Рассмотрена возможность модернизации манипулятора машины газовой резки сортовой машины непрерывного литья заготовок и манипулятора эркера дуговой сталеплавильной печи. Разработаны пневматические схемы манипуляторов и отдельные конструкции манипуляционных систем.

Наряду с традиционными пневмоприводами применяются приводы, основу которых составляют эластичные оболочки и гибкие связи. Они носят название приводов с гибкими или гибко-эластичными элементами [1, 2]. Приводы с гибкими элементами обладают рядом преимуществ по сравнению с приводами на основе пневмоцилиндров: значительно большие развиваемые усилия (особенно в начале диапазона сокращения), существенно меньшая масса, больший диапазон регулирования скоростей,

значительно меньше трение между подвижными частями механизма, отсутствие утечек, большая удельная мощность, снижение эксплуатационных затрат, существенно меньшая стоимость.

На основе анализа лучших конструкторских разработок сформулированы принципы построения приводов подобного типа [1, 2].

Движущая сила гибкого приводного элемента, обеспечивающего перемещение поступательной степени подвижности, обусловленная подачей рабочей среды под определенным давлением p_i в рабочий баллон $P_{дв}$, определяется по зависимости:

– при использовании одной ленты

$$P_{10в} = (p_i \cdot B \cdot L_0) \cos \alpha_i / 2\alpha_i,$$

где α_i – угол между прямой, проведенной через места крепления гибкого элемента на звеньях, и касательной, проведенной к гибкому элементу.

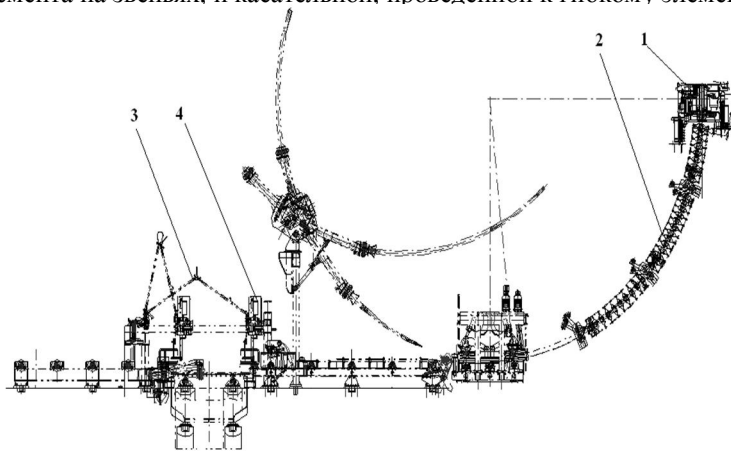


Рис.1. Компоновка манипулятора машины газовой резки ЗВО на МНЛЗ: 1 – манипулятор стальной; 2 – секции ЗВО; 3 – манипулятор МГР ЗВО; 4 – привод манипулятора

Рассматриваемый приводной элемент использован при разработке манипулятора машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) и манипулятора эркера дуговой сталеплавильной печи.

Машина газовой резки (рис. 1) МНЛЗ – один из основных агрегатов зоны вторичного охлаждения (ЗВО) – делит непрерывно-литую заготовку на части предварительно заданной длины, а в случае аварии разделяет горячий и остывший ручей. Желаемая длина заготовок выбирается оборудованием измерения длины. Главным условием ровного поперечного реза ручья является синхронность машины газовой резки и движущегося ручья во время резки. Это достигается с помощью боковой фиксации машины на ручье двумя зажимами.

Благодаря силе трения захвата машина газовой резки не скользит по ручью. Машина газовой резки движется по направляющей, расположенной

посередине над ручьем. Синхронное движение начинается после захвата ручья. Это происходит после сигнала от потребителя, соответствующего заданной длине заготовки. Во время захвата машины двигаются вдоль ручья крестообразно, поэтому они всегда находятся в центре ручья, т.е. при отклонении ручья резка располагается на одинаковом расстоянии от края заготовки. Во время захвата резак механически отталкивается к краю блока и начинает делить ручей на куски заданной длины. После реза машина с помощью противовеса возвращается в начальное положение.

Модернизированная пневматическая схема привода захватов приведена на рис. 2. В начальном положении захваты раскрыты.

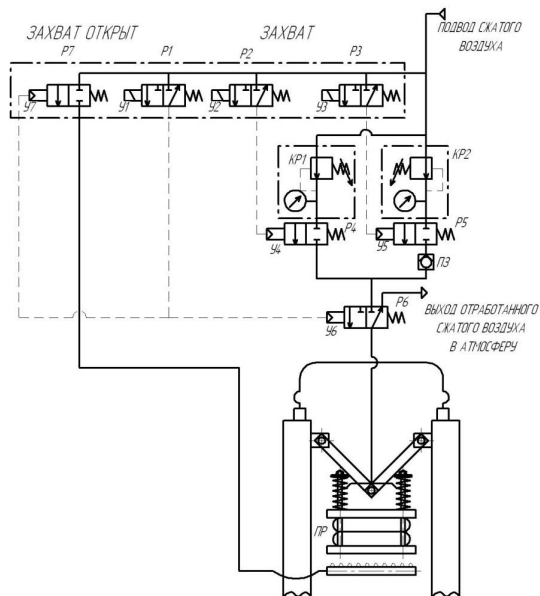


Рис. 2. Пневматическая схема привода захвата манипулятора

После того, как измерительное устройство (на схеме не показано) отсчитает заданную длину сортовой заготовки на управляющие электромагниты У1 и У3 распределителей Р1 и Р3, подаётся управляющий электрический сигнал, что переключает их из запирающего положения в положения пропускания. Сжатый воздух через управляющий распределитель Р1 по линии управления поступает на пневматический переключатель У6 рабочего распределителя Р6, переключая этот распределитель из положения запирающего в рабочее положение. Одновременно с этим сжатый воздух через управляющий распределитель Р3 по линии управления поступает на пневматический переключатель У5 рабочего распределителя Р5, переключая этот распределитель из положения запирающего в рабочее положение. Сжатый воздух через рабочие распределители Р5 и Р6 поступает в полость пневматического привода, заполняя её, что вызывает, в итоге, смыкание захватов.

Редукционный клапан КР2 настроен таким образом, чтобы давление, создаваемое сжатым воздухом после этого клапана и, соответственно, поступающее в полость пневматического привода ПР, было способно сомкнуть захват, но не настольное, чтобы это способствовало фиксации резака относительно движущейся заготовки. Давление $P_1=0,1$ МПа. При данном смыкании кромки захвата, смыкаясь, касаются движущейся заготовки, но не фиксируются на ней. Это необходимо для того, чтобы с боковых сторон заготовки нагар и облегчить процесс газового резания. Баллонный пневматический привод, заполняясь рабочим газом, расширяется, сжимая возвратные пружины привода, толкает вверх рычаги, которые и приводят к закрытию захвата.

Через определённый промежуток времени электрический сигнал подаётся на управляющий электромагнит УЗ управляющего распределителя Р2, открывая его. Управляющий пневматический сигнал подаётся на пневматическое управление У4 рабочего распределителя Р4. Этот распределитель, в свою очередь, открываясь, пропускает через себя сжатый воздух. Но редукционный клапан КР1 настроен на поддержание давления большего, чем редукционный клапан КР2, которое необходимо для окончательного смыкания захватов и фиксации резака относительно движущейся заготовки. Давление $P_2=0,25$ МПа.

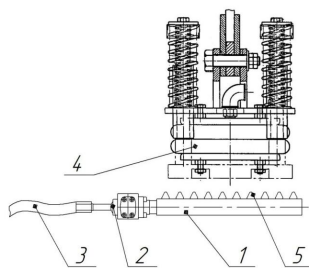


Рис. 3. Система охлаждения:

- 1 – охлаждающий элемент;
- 2 – штуцер;
- 3 – трубопровод;
- 4 – сиффон

Пневматический замок ПЗ служит для того, чтобы сжатый воздух большего давления, поступающий через рабочий распределитель Р4, не попадал в полость рабочего распределителя Р5, имеющего меньшее давление воздуха в магистрали.

В схеме дополнительно установлен распределитель Р7, который соединен с трубопроводом и охлаждающим элементом системы охлаждения. Для решения

данной задачи предлагается применить систему охлаждения (рис. 3).

Во время работы сжатый воздух непрерывно подается в линию системы охлаждения. Из линии системы охлаждения через штуцер 2 сжатый воздух поступает в охлаждающий элемент 1 и далее через форсунки 5 – непосредственно на сиффон 4.

Вывод. Разработка манипуляторов с гибкими элементами позволит обеспечить эффективную работу в периоды работы металлургических агрегатов и обеспечит их эффективное охлаждение.

Список литературы

1. Пат. 2005063 РФ, МПК В25J 1/2. Исполнительный орган манипулятора / В.В.Точилкин, А.М.Филатов (РФ). № 5025141/08; заявл. 31.01.92; опубл. 30.12.93. Бюл. № 47–48.
2. Точилкин В.В. Пневматические манипуляторы для отсечки конвертерного шлака // Вестник машиностроения. 2007. № 10. С. 42–44.

Н.В. Биктимиров, Е.И.Канаева, В.В. Точилкин

РАЗРАБОТКА МАНИПУЛЯТОРОВ И УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОТСЕЧКИ ШЛАКА ПРИ РАЗЛИВКЕ МЕТАЛЛА ИЗ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

Усовершенствование и разработка новых принципов построения манипуляторов для отсечки шлака и усовершенствование методик расчета этих манипуляторов позволит уменьшить количество загрязнений и шлака, поступающего из конвертера в сталеразливочный ковш при выпуске металла, а также повысить степень чистоты стали.

Для обеспечения необходимого качества металла при разливке из конвертера применяют различные способы отсечки шлака [1–3]. Одним из наиболее эффективных является использование манипуляторов, установленных непосредственно перед конвертером и подающих в рабочую зону шары-пробки, которые затем отсекают шлак.

В кислородно-конверторном цехе Магнитогорского металлургического комбината для данных целей применяется манипулятор, который представляет собой механизм параллелограмного типа со стрелой, оснащенный системой гидропривода. На переднем конце стрелы манипулятора закреплен механизм сброса шара-пробки, который происходит при прохождении над сталевыпускным отверстием за 30–60 с до окончания слива стали из конвертера в ковш.

Время нахождения стрелы в конвертере 7 с, время рабочего хода 25 с. Данный манипулятор занимает значительные площади и требует использования ручных операций при загрузке в захватное устройство шара-пробки. Манипулятор может работать только в ручном режиме, так как точность его позиционирования определяется действиями оператора.

Одной из наиболее перспективных компоновок манипуляторов является автоматический манипулятор стрелового типа с телескопической стрелой и захватом для шара-пробки, оснащенный системой автоматической загрузки шаров-пробок из обоймы.

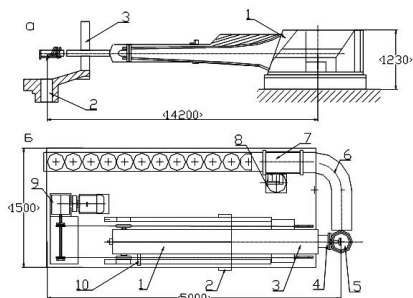


Рис. 1. Манипулятор с телескопической стрелой и автоматом загрузки шаров-пробок для отсечки шлака

На рис. 1, а представлен общий вид манипулятора 1, установленного рядом с конвертером 3, расположение манипулятора показано относительно сталевыпускного отверстия конвертера.

Манипулятор сконструирован в виде законченного модуля коробчатой конструкции с разъемами для систем привода и управления, может свободно перемещаться между конвертерами, грузоподъемными механизмами.

На рис. 1, б представлена схема манипулятора с телескопической стрелой и автоматом загрузки. Стрела 1 выполнена из двух секций 3 и 4, которые опираются на систему направляющих. На конце стрелы установлен захват 5 для шара-пробки. Выдвижение стрелы 1 обеспечивается приводом 9. На подвижных элементах манипулятора установлена система встраиваемых датчиков 2, контролирующая положение рабочих элементов манипулятора, а также сброс шара пробки. Автомат загрузки 6 установлен на боковой поверхности манипулятора, он состоит из кассеты 7, в которую загружены шары-пробки, и механизма 8 подачи шаров-пробок. Точность позиционирования определяется настраиваемыми упорами 10.

Общий вид механизма подачи шаров-пробок автомата загрузки показан на рис. 2. Механизм подачи состоит из корпуса 1, привода 4, храпового 2 и подающего 3 механизмов.

Работает автоматический манипулятор следующим образом. При включении привода выдвигаются секции стрелы. Захват с шаром-пробкой вводится в конвертер. При полностью выдвинутой стреле срабатывает захват манипулятора и сбрасывается шар-пробка.

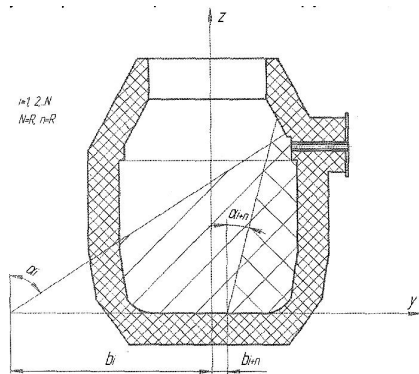


Рис. 2. Расчетная схема для математической модели

Для модели берется система координат, связанная с осью конвертера. Считается конвертер неподвижным, а межфазная граница в этой системе координат поворачивается на определенный угол и перемещается в определенном направлении (см. рис. 2).

Объем шлака находится между двумя плоскостями, одна из которых является межфазной границей сталь-шлак и описывается уравнением $y = z \cdot \operatorname{tg} \alpha + b$, другая – межфазной границей шлак-воздух и описывается уравнением $y_h = z \cdot \operatorname{tg} \alpha + b_h$.

Сначала определяется объем стали интегрированием по сечениям

$$V = \int_{z_1}^{z_2} S(z) dz = \int_{z_1}^{z_2} dz \int_{\phi_1}^{\phi_2} d\phi \int_F \rho d\rho,$$

где z_1, z_2 – пределы интегрирования по высоте; φ_1, φ_2 – пределы интегрирования по полярному углу; ρ – радиус вектор; F – некоторая функция.

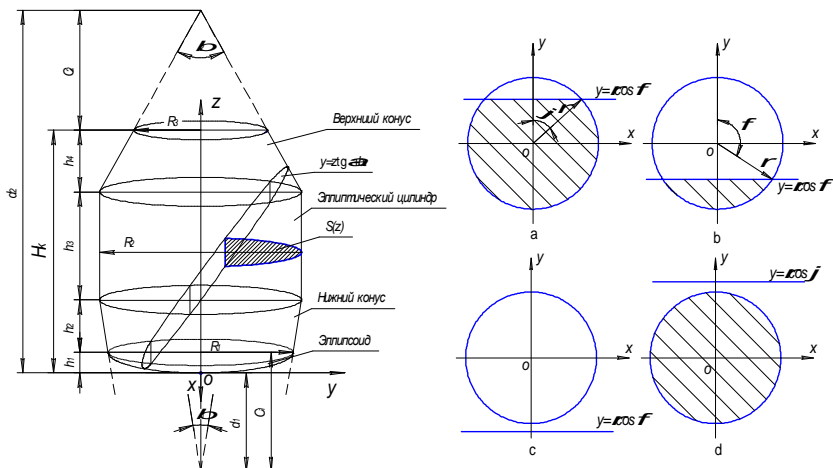


Рис. 3. Расчетные схемы для определения объема стали и шлака

Объем шлака находится аналогично объему стали интегрированием по сечениям

$$W = \int_{z_2}^{z_1} S_h(z) dz.$$

Далее численным способом решается система уравнений, описывающих межфазные границы, и находятся неизвестные.

Вывод. Анализ данной математической модели показал уменьшение объема вынесенного в ковш шлака, это позволяет, в свою очередь, экономить используемые раскислители и уменьшить индекс неметаллических включений.

Список литературы

1. Точилкин В.В., Кольга А.Д. Автоматический манипулятор для отсечки конвертерного шлака // Изв. вузов. Черная металлургия. 1995. № 10. С. 68–69.
2. Пат. 41017 РФ, МПК⁷ C21C 5/46, F27D 3/15. Устройство для закрывания выпускного отверстия конвертера / В.Ф. Рашников, Р.С. Тахаутдинов, В.М. Корнеев, К.Н. Вдовин, В.В. Точилкин, А.Н. Даровских, А.М.Филатов, Д.А. Бодяев, С.Ю.Зайцев. Опубл. 10.10.2004. Бюл. № 28.
3. Пат. 41463 РФ, МПК⁷ C21C 5/45, F27D 3/15. Устройство для отсекаания шлака и закупорки выпускного отверстия металлургического агрегата / В.Ф. Рашников, Р.С. Тахаутдинов, К.Н. Вдовин, В.В. Точилкин, А.Н. Даровских, А.М.Филатов, Д.А. Бодяев, С.Ю.Зайцев. Опубл. 27.10.2004. Бюл. № 30.

Е.А. Лаптев, С.В. Михайлицын, А.И. Беляев

СВАРКА ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Рассмотрена сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов, выделены особенности сварки алюминия, области применения, выгода от применения, выделены перспективы применения как алюминиевых сплавов, так и способа сварки трением с перемешиванием.

Сварка трением с перемешиванием – это процесс твердотельного соединения материалов, при котором механическая энергия, подводимая к свариваемым деталям (например, за счет вращения специального керамического инструмента), преобразуется в тепловую. При этом металл не плавится, генерирование теплоты происходит непосредственно в месте будущего соединения, и благодаря пластической деформации свариваемых металлов в зоне стыка под воздействием механического усилия вращающегося инструмента происходит сварка.

Алюминий и его сплавы играют важную роль в современной промышленности. Это обусловлено тем, что большинство промышленных сплавов алюминия обладает рядом уникальных свойств: сочетание высоких механических свойств (высокая удельная прочность) и физических свойств (малая плотность, высокая теплопроводность, которая в 3–3.5 раза выше, чем у стали).

Основными областями применения являются транспорт (авиационная промышленность, кораблестроение, вагоностроение), строительство (металлоконструкции общего назначения) и упаковочная промышленность (рис. 1).



Рис. 1. Применение алюминия и его сплавов в промышленности

Большинство промышленных сплавов представляют собой сложные металлургические системы. В качестве основных легирующих элементов для алюминия используют магний, марганец, медь, кремний, цинк, реже никель, титан, бериллий, цирконий. Большинство легирующих элементов образуют с алюминием твердые растворы ограниченной растворимости, а

также промежуточные фазы с алюминием и между собой (например, Mg_2Si , $CuAl_2$). Суммарное содержание легирующих элементов, как правило, не превышает 15%. Дополнительного упрочнения, как и для технического алюминия, можно достичь нагартовкой (наклепом). Однако применение нагартованного металла в сварных конструкциях менее удобно, чем использование ненагартованного или отожженного. Нагартованный металл, в особенности с повышенным содержанием легирующих примесей, труднее деформировать при изготовлении заготовок под сварку. Кроме того, эффект нагартовки легко снимается сварочным нагревом.

Максимальную прочность термически упрочняемых сплавов получают в результате закалки и последующего старения. В закаленном и состаренном сплаве упрочнение обеспечивается образованием зон Гинье – Престона (зонное упрочнение) или мелкодисперсных фаз (фазовое упрочнение). Закалку сплава осуществляют погружением его в воду. При этом создается пересыщенный твердый раствор алюминия. При последующей выдержке на воздухе и комнатной температуре (естественное старение) или при температуре 100–190°С (искусственное старение) прочность полуфабрикатов повышается в 2–2,5 раза. Временное сопротивление термически упрочняемых сплавов достигает 400–500 МПа и более.

Чем меньше примесей в алюминиевом сплаве, тем, как правило, выше его пластичность. Технический алюминий, алюминий-марганцевый и низколегированные сплавы с магнием вплоть до АМг5 легко деформируются в холодном состоянии. Образцы сплава АМг6 в зависимости от толщины, содержания сопутствующих примесей могут быть изогнуты на 100–180°. Термически упрочняемые сплавы допускают деформацию только в закаленном состоянии, а в состаренном состоянии изгибу не подлежат. Их можно деформировать после небольшого нагрева (150–200°С). Одна из основных областей применения технологии сварки трением с перемешиванием – судостроение, где широко используются сварные панели, отличающиеся хорошей плоскостностью размером 1250 x 5000 мм из алюминиевого сплава 5083, стойкого против коррозии в морской воде, а также сотовые панели с высоким шумопоглощающим эффектом для стен корабельной каюты и железнодорожных вагонов. Сообщается о других морских объектах возможного применения сварки трением с перемешиванием: катера-катамараны, нефтедобывающие платформы, рефрижераторы, посадочные платформы для вертолетов, мачты и боны, например парусных яхт, и др. Морское ведомство (Регистр Ллойда) разработало руководящее указание, где определило сферу новых разработок, на основании которых должен быть создан стандарт на технологию сварки трением с перемешиванием.

Основные трудности сварки алюминия и его сплавов:

1. Наличие и возможность образования тугоплавкого окисла Al_2O_3 ($T_{пл} = 2050^\circ C$) с плотностью больше, чем у алюминия, затрудняет сплавление кромок соединения и способствует загрязнению металла шва частичками этой пленки.

2. Резкое падение прочности при высоких температурах может привести к разрушению (проваливанию) твердого металла нерасплавившейся части кромок под действием веса сварочной ванны. В связи с высокой жидкотекучестью, алюминий может вытекать через корень шва.

3. В связи с большой величиной коэффициента линейного расширения и низким модулем упругости сплав имеет повышенную склонность к короблению. Уровень сварочных деформаций в 1,5–2 раза выше, чем у аналогичных стальных конструкций.

4. Необходима самая тщательная химическая очистка сварочной проволоки и механическая очистка и обезжиривание свариваемых кромок. В связи с резким повышением растворимости газов в нагретом металле и

задержкой их в металле при его остывании возникает интенсивная пористость, обусловленная водородом, приводящая к снижению прочности и пластичности металла. Предварительный и сопутствующий подогрев замедляет кристаллизацию металла сварочной ванны, что способствует более полному удалению газов и снижению пористости.

5. Вследствие высокой теплопроводности алюминия необходимо применение мощных источников теплоты. С этой точки зрения в ряде случаев желательны подогрев начальных участков шва до температуры 120–150°C или применение предварительного и сопутствующего подогрева.

6. Металл шва склонен к возникновению трещин в связи с грубой столчатой структурой металла шва и выделением по границам зерен легкосплавных эвтектик, а также развитием значительных усадочных напряжений в результате высокой литейной усадки алюминия (7%).

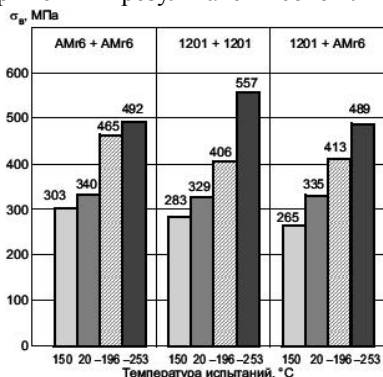


Рис. 2. Механические свойства соединений, полученных фрикционной сваркой (приведены минимальные значения, испытывали 5 образцов толщиной 4,0 мм)

в последние пять-шесть лет быстро развивались практически во всех промышленно развитых странах. Об этом можно судить по увеличению числа сообщений на международных симпозиумах о результатах исследований, разработок и производственного внедрения процесса сварки трением с перемешиванием (рис. 2).

Основной особенностью СТП является то, что процесс сварки происходит в твердой фазе (материал заготовок не плавится). Это позволяет устранить причины образования горячих трещин и пор, что обеспечивает возможность соединения ограниченно свариваемых плавлением алюминиевых, магниевых и медных сплавов. Также для СТП характерны малые остаточные напряжения и деформации, поскольку материал свариваемых заготовок нагревается до температур ниже температуры плавления, что приводит к меньшему, чем при сварке плавлением, градиенту температур в области сварного шва. Кроме того, процесс легко поддается автоматизации и обладает высокой экологичностью.

Лучшим способом оценки качества СТП является сравнение ее с другими методами сварки. Деформация очень ограниченного пространства при малом тепловложении и при твердом состоянии материала определяет качество сварки СТП выше качества других методов сварки, таких как MIG/MAG сварка. Область применения СТП: конструкции, к которым предъявляются высочайшие требования, например ракеты и самолеты.

Таким образом, разработка и применение процесса сварки трением с перемешиванием

М.В. Обломец**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ СОРТОВЫХ СТАНОВ**

Рассмотрены примеры использования системы «масло-воздух» для смазывания подшипниковых узлов сортовых станков.

В настоящий момент в России, как и во всем мире, идет рост потребления продукции сортовых станков, по последним подсчетам их процентная составляющая в общей доли потребляемой металлопродукции составляет от 27 до 30%. В первую очередь это связано с мировым ростом строительства различных сооружений из так называемого монолитбетона. Высокие требования к качеству и постоянно растущие объемы потребления диктуют свои условия в металлургической отрасли. В условиях рыночной экономики для достижения высокой эффективности сортовой прокатки особое значение приобретают проблемы обеспечения экономически целесообразного уровня надежности оборудования.

Одной из основных проблем является повышение стойкости подшипниковых узлов в опорах прокатных валков. Выход из строя подшипников, как правило, приводит к нарушениям в работе прокатного оборудования, что влечет за собой ухудшение качества готовой продукции или приводит к полной остановке стана. Основных причин, по которым подшипник может выйти из строя, несколько, мы постараемся выделить и рассмотреть некоторые из них.

Одной из основных причин выхода из строя подшипника является повышенное давление на него со стороны нажимных винтов, которое передается через прокатный валок. Данное усилие обусловлено половиной усилия прокатки, которое необходимо для деформации заготовки определенной формы, движущейся с определенной скоростью, имеющую определенную температуру и степень деформации*.

Ещё одна основная причина выхода из строя подшипника – это смазочный материал, его тип, количество и качество в зоне контакта. В настоящее время, в связи с устаревшим парком оборудования, в России используют в качестве смазочного пластичный материал, который зачастую подается (закладывается) в зону контакта лишь периодически, при проведении плановых ремонтов или осмотров оборудования. Также смазочный материал может поступать централизованно по специальному каналу и подаваться в зону контакта. Основная проблема заключается в выдавливании смазочного материала из зоны контакта за счет давления и высокой скорости вращения, таким образом, величина смазочного слоя резко сокращается после непродолжи-

* Исследование и разработка режимов смазывания подшипниковых узлов рабочих валков стана 2000 горячей прокатки / Платов С.И., Терентьев Д.В., Жиркин Ю.В., МIRONENKOV E.И., Мезин И.Ю. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета имени Г.И. Носова. 2012. №2. С.89–100.

тельно времени работы оборудования. Уменьшение смазочного слоя приводит к быстрому нагреву самого смазочного материала и трущихся в процессе скольжения-качения пар трения. В свою очередь, с повышением температуры смазочный материал теряет свои свойства и перестает исполнять функцию разделительного слоя, а при превышении критических показателей может разложиться на различные составляющие. Ещё одним недостатком данного вида является относительно легкое вымывание его водой, которая обильно подается для охлаждения оборудования.

Одним из последних решений, связанных с продлением срока службы подшипниковых узлов, применяемых на новых сортопрокатных станах в России и за рубежом, является применение нового типа смазочного материала и системы подачи данного материала в зону контакта, так называемая смазка масляным туманом под давлением. Основным преимуществом данного вида материала является высокая смазочная способность и высокая степень охлаждения трущихся деталей за счет постоянного поступления данного смазочного материала в зону контакта. Ещё один плюс применения данного типа смазки – это его экономичность и относительно легкое переоснащение оборудования.

Переход на новый тип смазочного материала был осуществлен на ООО «Ростовский электрометаллургический завод» в городе Шахты. В 2011 году был пущен сортовой стан производства итальянской компании Sider Engineering. Спустя всего полгода весь стан, начиная от черновой и заканчивая чистовой группой клетей, был переведен на новую систему смазывания «масло-воздух». К сожалению, точных данных по сокращению количества остановок из-за выхода из строя подшипников нет, но механоремонтные службы, обслуживающие данный стан, остались довольны нововведением и дали высокую оценку проведенной работе по переоснащению стана. Ещё одним примером может служить новый сортовой стан, строящийся в г. Тюмени компанией Danieli, данная система также будет установлена на прокатном оборудовании чистовой и промежуточной группах стана. Проведение горячих испытаний и пуск стана намечен на конец августа 2013. Это будет один из наиболее современных сортопрокатных станом на территории России из числа существующих.

К сожалению, при уже полученных положительных результатах на некоторых предприятиях после внедрения системы масло-воздух до сих пор вопрос перехода на неё находится в области личной инициативы технического персонала того или иного предприятия, поскольку нет методики, которая бы позволила применить данную систему подачи смазочного материала к любому сортопрокатному стану. В ближайшей перспективе актуальным станет вопрос разработки унифицированного метода определения различных параметров, таких как температура, давление, процентное содержание масла в воздушном тумане и тип смазочного материала для каждого отдельно взятого участка прокатного стана, в соответствии с его индивидуальными параметрами.

В.А. Некит, М.В. Шалашова, И.М. Хамитов

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОКАТКИ СВЕРХТОНКИХ ПОЛОС НА СТАНЕ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

Произведен расчет параметров горячей прокатки полосы толщиной от 0,8 до 1,2 мм. Установлено наличие возможности прокатки полос данной толщины на действующем стане горячей прокатки без существенной переналадки оборудования. Произведен расчет расхода воды на душирование полосы при прокатке тонких полос.

В мировой металлургии существует и растет производство горячекатаного оцинкованного металла взамен холоднокатаного. Издержки на производство тонких горячекатаных полос ниже на 20–30 \$/т. Более того, тонкие горячекатаные полосы находят спрос и без оцинкованного покрытия как самостоятельный вид товарной продукции. Значительную часть оцинкованного металла толщиной 1,2–1,5 мм представляет продукция группы общего назначения ОН [5].

У оцинкованного металла группы ОН нормируется только число перегибов (не менее 3 при толщине 1,2–2 мм).

Получение листового горячекатаного металла толщиной менее 1,2 мм имеет ряд технологических трудностей. Прокатка тонкого металла приводит к увеличению длины полосы и, следовательно, без увеличения скорости прокатки в чистовой группе к снижению производительности стана.

Целью настоящей работы является исследование энергосиловых параметров горячей прокатки на стане 2000 ОАО «ММК» и работы систем душирования при прокатке сверхтонких полос.

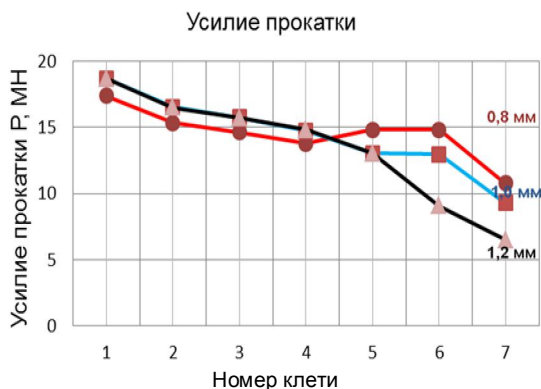
Для анализа энергосиловых параметров прокатки полос разработали пакет программ для их расчета. В основу положена методика А.И. Целикова [1]. Она включает расчет усилия, момента прокатки и мощности электродвигателей. Методика рассчитана на определение коэффициентов, определяющих влияние нескольких факторов: трения, условия захвата, натяжения свободных концов полосы, механических свойств прокатываемой полосы.

Расчет расхода воды и схем работы системы охлаждения полосы после прокатки произведен по методике А.А. Королева [4].

Результаты расчета усилия представлены на рисунке.

Расчет энергосиловых параметров и технологии охлаждения полос на отводящем рольганге после прокатки показывают, что режимы прокатки не превышают предельных параметров. Предельное усилие прокатки в чистовой прокатной клетке ограничивается прочностью станины и составляет 20 МН, в рабочей линии прокатной клетки установлены два электродвигателя мощностью по 6000 кВт.

Анализ литературных данных показывает, что снижение производительности при прокатке тонких полос не превысит 20%.



Список литературы

1. Целиков А.И., Гришков А.И. Теория прокатки. М.: Металлургия, 1970. 358 с.
2. Теория прокатки: справочник / А.И.Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзин и др. М.: Металлургия, 1982. 335 с.
3. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки: справочник. М.: Металлургия, 1986. 430 с.
4. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов: учеб. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1985.
5. Разработка технологии производства горячекатаной тонколистовой оцинкованной стали / Исмагилов Р. А., Румянцев М. И., Завалищин А.Н. и др. // Сталь. 2006. № 7. С.49.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Абдрахманова Ригина Назымовна** – студ. гр. ТСП-08 каф. стандартизации, сертификации и технологии продуктов питания ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail ReginaAbdrakmanova@yandex.ru, 258
- Аллабердин Азамат Булякович** – аспирант каф. подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298466. E-mail Allaberdinazamat@mail.ru, 16
- Амиров Руслан Низамиевич** – аспирант каф. машин и технологий обработки давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. Тел. 8(3519)298480. E-mail ruslan246@mail.ru, 356
- Анисимов Александр Леонидович** – канд. техн. наук, и.о. доц. каф. математики ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298524. E-mail aanisimov@yandex.ru, 27
- Анисимова Елена Александровна** – студ. гр. МЛ-09 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail lenok.lapo4ka01@yandex.ru, 210
- Анцупов Александр Викторович** – канд. техн. наук, доц. каф. технологий машиностроения ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. Тел. 8(3519)298519. E-mail antsupov.alexander@gmail.com, 347
- Анцупов Алексей Викторович** – канд. техн. наук, и. о. доц. каф. механического оборудования металлургических заводов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. Тел. 8(3519)298507. E-mail ants@mgn.ru, 347
- Анцупов Виктор Петрович** – д-р техн. наук, проф. каф. механического оборудования металлургических заводов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. Тел. 8(3519)298507. E-mail antsupov.vp@gmail.com, 347, 364
- Афонин Игорь Александрович** – ст. преп. каф. промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298488, 298462. E-mail eco_safe@magtu.ru, 175
- Афонина Елена Александровна** – ст. преп. каф. промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова. E-mail akustik43@mail.ru, 177
- Ахметова Альфия Айдаровна** – инженер каф. литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. Тел. 8(3519)298567. E-mail ruskp06@rambler.ru, 317
- Байбатыров Руслан Миндыбаевич** – студ. гр. КА-08 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail tagotera23s@mail.ru, 210

- Барышников Михаил Павлович** – канд. техн. наук, доц. каф. машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. E-mail alesandra001@mail.ru, 277
- Барышникова Надежда Ивановна** – канд. биолог. наук, доц., зав.кафедрой стандартизации, сертификации и технологии продуктов питания ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail barunya@mail.ru, 261
- Белан Алексей Романович** – студ. гр. ГВ-08 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail lexa13@list.ru, 79
- Беляев Александр Иванович** – канд. техн. наук, доц. каф. машин и технологий обработки давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. E-mail aibelyaev@mail.ru, 377
- Бигеев Вахит Абдрашитович** – д-р техн. наук, проф., декан химико-металлургического факультета, зав. кафедрой металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298559. E-mail v.bigeev11@yandex.ru, 104, 108
- Биденко Николай Алимович** – аспирант каф. металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail 89mikola@mail.ru, 119
- Биктимиров Николай Владимирович** – магистрант гр.КММа-12 механико-машиностроительного факультета ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова, 374
- Билалова Зарина Мирасовна** – студ. каф. обогащения полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 38
- Бодьян Любовь Анатольевна** – канд. пед. наук, доц. каф. химии, технологии упаковочных производств ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail Bodyan_n@mail.ru, 289
- Бородина Екатерина Николаевна** – аспирант каф. машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел.8(3519)298512, 329
- Буданов Борис Александрович** – канд. техн. наук, доц. каф. металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298430, 145
- Букреев Александр Евгеньевич** – канд. техн. наук, начальник цеха композиционных материалов ООО НТПФ Эталон. E-mail mail@ntpf-etalon.ru, 112
- Бурмистров Константин Владимирович** – канд. техн. наук, доц. каф. открытой разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298556. E-mail burmistrov_kv@mail.ru, 71
- Бурмистрова Евгения Александровна** – аспирантка каф. машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail www.melnik-29@mail.ru, 279

- Ваганов Анатолий Иванович** – канд. техн. наук, доц. каф. металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298430, 122
- Вайскрובה Евгения Сергеевна** – канд. техн. наук, ст. преп. каф. стандартизации, сертификации и технологии продуктов питания ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail v_zhenya@mail.ru, 258
- Варламова Ирина Александровна** – канд. пед. наук, доц. каф. химии, технологии упаковочных производств ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298533. E-mail Varlamova156@gmail.com, 323
- Варламова Наталья Андреевна** – инженер патентно-информационного отдела ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298463. E-mail VarlamovaNatasha@gmail.com, 323
- Васильева Татьяна Алексеевна** – студ. ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 93
- Вахрушева Инна Алексеевна** – ст. преп. каф. математики ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail innavahrusheva@gmail.com, 207
- Вдовин Константин Николаевич** – д-р техн. наук, зав. каф. электрометаллургии и литейного производства ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298419, 298
- Волощук Алена Дмитриевна** – студ. гр. АВБ-11-2 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 68
- Габбасов Булат Маратович** – канд. техн. наук, доц. каф. горных машин и транспортно-технологических комплексов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail bulatg74@mail.ru, 45
- Гаврилова Евгения Владимировна** – студ.гр. ТПК-09 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail g-evgenya21@list.ru, 326
- Гавришев Сергей Евгеньевич** – д-р техн. наук, проф., директор института горного дела и транспорта ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298575. E-mail ormpi-cg@mail.ru, 31, 71
- Галкин Юрий Александрович** – д-р техн. наук, директор ООО НПФ ЭКО-ПРОЕКТ, 195
- Галямов Виктор Шамилевич** – аспирант каф. обогащения полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 38
- Генкель Анатолий Валерьевич** – студ. гр. ГО-08 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail genkel1204@mail.ru.p, 71
- Герасимов Дмитрий Александрович** – студ. гр. ГВ-08 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail dimuska_@mail.ru, 86

- Гиревая Ханифа Яншаевна** – канд. техн. наук, доц. каф. химии, технологии упаковочных производств ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail hanifa70@list.ru, 282
- Голубчик Эдуард Михайлович** – канд. техн. наук, доц. каф. машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел 8(3519)298512, 213, 241
- Горбатова Елена Александровна** – канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой маркшейдерского дела и геологии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298542. E-mail lena_gorbatova@mail.ru, 22
- Горленко Дмитрий Александрович** – ассистент каф. материаловедения и термической обработки металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail gorldima@yandex.ru, 298
- Горлова Ольга Евгеньевна** – канд. техн. наук, доц. каф. обогащения полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298555, 41
- Грачева Наталья Александровна** – студ. гр ТУ-09 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail wolfinbolk@mail.ru, 289
- Гришин Игорь Анатольевич** – канд. техн. наук, доц. каф. обогащения полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298555, 38
- Гун Евгений Игоревич** – студ. ФГБОУ ВПО Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, 314
- Гун Игорь Геннадьевич** – д-р техн. наук, проф. каф. технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298431. E-mail tssa@magtu.ru, 314
- Гущин Дмитрий Николаевич** – аспирант каф. металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail sun-dima@yandex.ru, 119
- Гущина Марина Сергеевна** – аспирантка каф. обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail marina.mgn.89@mail.ru, 216
- Дёма Роман Рафаэлевич** – канд. техн. наук, доц. каф. машин и технологий обработки давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298436. E-mail demar78@mail.ru, 356
- Долгачева Ольга Александровна** – инженер-технолог лаборатории термической и кузнечно-прессовой обработки службы качества и инжиниринга ЗАО МРК. E-mail dolgacheva.oa@mrk.mmk.ru, 321
- Долгополова Любовь Борисовна** – канд. техн. наук, доц. каф. электрометаллургии и литейного производства ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail magnitha111@mail.ru, 210

- Долматова Ирина Александровна** – канд. сельскохозяйственных наук, ст. преп. каф. стандартизации, сертификации и технологии продуктов питания ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail dl.alina@rambler.ru, 255
- Дробный Дмитрий Олегович** – аспирант ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 195
- Дробный Олег Федорович** – канд. техн. наук, начальник лаборатории охраны окружающей среды ОАО Магнитогорский металлургический комбинат. Тел. 8(3519)247983. E-mail drobny@mmk.ru, 136, 195
- Дружков Виталий Гаврилович** – канд. техн. наук, доц. каф. металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298430. E-mail mchm@magtu.ru, 104, 115, 122
- Дутченко Александр Николаевич** – студ. гр. ГЭМ-09 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail alib123456789@yandex.ru, 45
- Дрюльдина Эльвира Владимировна** – канд. техн. наук, проф. каф. химической технологии неметаллических материалов и физической химии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail dev@magtu.ru, 155
- Емельяненко Елена Алексеевна** – канд. техн. наук, доц. каф. маркшейдерского дела и геологии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298540. E-mail emv31@mail.ru, 75
- Ефимова Юлия Юрьевна** – канд. техн. наук, доц. каф. машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 241
- Жевненко Сергей Николаевич** – канд. физ.-маг. наук, доц. НИТУ МИСиС. E-mail zhevnenko@gmail.com, 161
- Железков Олег Сергеевич** – д-р техн. наук, проф. каф. теоретической механики и сопротивления материалов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. E-mail ferumoff@mail.ru, 360, 363
- Жеребцов Максим Сергеевич** – студ. гр. ТПД-08 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail Max777slavashka@mail.ru, 251
- Жиденко Иван Геннадьевич** – студ. ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 68
- Жиркин Юрий Васильевич** – канд. техн. наук, проф. каф. механического оборудования металлургических заводов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. E-mail girkin@yandex.ru, 367
- Завалищин Александр Николаевич** – д-р техн. наук, проф. каф. материаловедения и термической обработки ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298567, 230, 298

- Зайцева Татьяна Николаевна** – канд. биолог. наук, доц., каф. стандартизации, сертификации и технологии продуктов питания ФГБОУ ВПО
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail tatyananick@mail.ru, 263
- Заляднов Вадим Юрьевич** – канд. техн. наук, доц. каф. открытой разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
Тел. 8(3519)298556. E-mail zalyadnov@mail.ru, 31, 82
- Зинина Оксана Владимировна** – канд. с.-х. наук, доц. каф. стандартизации, сертификации и технологии продуктов питания ФГБОУ ВПО
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail zinoks-vl@mail.ru, 326
- Зобнин Геннадий Дмитриевич** – студ. ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 93
- Зотов Сергей Владимирович** – канд. техн. наук, доц. каф. технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail zotov_tssa@mail.ru, 301
- Зюина Мария Александровна** – студ. гр. ТСА-09 ФГБОУ ВПО
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail 0611911@rambler.ru, 301
- Зяблицева Мария Анатольевна** – студ. гр. ТПМ-08 ФГБОУ ВПО
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail mariya.zyabliceva@bk.ru, 255
- Извекон Юрий Анатольевич** – канд. техн. наук, проф. РАЕ, доц. каф. математики ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298524. E-mail major0767@mail.ru, 48
- Ильина Мария Андреевна** – студ. гр.МХТ-09 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 172
- Ицкович Алексей Анатольевич** – аспирант НИТУ МИСиС.
E-mail alexey84.box@gmail.com, 161
- Ишимов Алексей Сергеевич** – студ. гр. ТПД-08 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail TTSoprano.a@gmail.com, 251
- Кадошников Владимир Иванович** – канд. техн. наук, проф., зав. каф. прикладной механики и графики ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова.
Тел. 8(3519)298475. E-mail kvi-51@mail.ru, 351, 354
- Кадошникова Ирина Дмитриевна** – канд. техн. наук, доц. каф. прикладной механики и графики ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. Тел. 8(3519)298438, 351
- Калмыков Вячеслав Николаевич** – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
Тел. 8(3519)298461. E-mail prmpi@magtu.ru, 9

- Калугин Дмитрий Александрович** – инженер отдела обработки металлов давлением и математического моделирования ОАО НПО ЦНИИТМАШ.
E-mail kalugin.dmitry@gmail.com, 323
- Калугина Наталья Леонидовна** – канд. пед. наук, доц. каф. химии, технологии упаковочных производств ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298533.
E-mail nkalugina@gmail.com, 323
- Камалова Гюзель Ягафаровна** – студ. гр. ТММ-09 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 230
- Канаева Евгения Ивановна** – аспирант механико-машиностроительного факультета ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. E-mail kanaeva_e456_@mail.ru, 374
- Караулов Николай Геннадьевич** – канд. техн. наук, доц. каф. открытой разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298556, 79
- Карпец Василь Викторович** – студ. механико-машиностроительного факультета ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова, 360
- Картунова Светлана Олеговна** – ст. преп. каф. маркшейдерского дела и геологии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298540. E-mail mdig@magtu.ru, 22
- Касаткина Елена Геннадьевна** – канд. техн. наук, доц. каф. технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298431. E-mail tssa@magtu.ru, 311
- Кашапова Елена Петровна** – ст. преп. каф. открытой разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. Тел. 8(3519)298556, 363
- Клебан Богдан Николаевич** – студ. каф. подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298534.
E-mail rmpri@magtu.ru, 35
- Клочковский Станислав Павлович** – канд. хим. наук, доц. каф. химической технологии неметаллических материалов и физической химии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 129, 141
- Кобелькова Елена Владимировна** – ассистент каф. математики ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298524. E-mail major0767@mail.ru, 48
- Коженикова Елена Васильевна** – ООО Исследовательско-технологический центр Аусферр, г. Магнитогорск. E-mail ausferr_elena@bk.ru, 230
- Колесатова Оксана Сергеевна** – доц. каф. маркшейдерского дела и геологии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298540. E-mail okolesatova@mail.ru, 22

- Колесников Юрий Алексеевич** – канд. техн. наук, доц. каф. металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. Тел. 8(3519)298449, 151
- Кольга Анатолий Дмитриевич** – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой горных машин и транспортно-технологических комплексов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298545, E-mail kad@magtu.ru, 19
- Корнеев Сергей Александрович** – канд. техн. наук, доц. каф. подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298534. E-mail prmpi@magtu.ru, 35
- Корнеева Вероника Сергеевна** – аспирант каф. подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298534. E-mail prmpi@magtu.ru, 35
- Корнилов Сергей Николаевич** – д-р техн. наук, зав. кафедрой промышленного транспорта ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298534. E-mail kornilov_sn@mail.ru, 65
- Коростелева Ольга Сергеевна** – студ. гр. ТСБ-09 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298431. E-mail tssa@magtu.ru, 308
- Коротин Андрей Викторович** – аспирант каф. химической технологии неметаллических материалов и физической химии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail saturn2112@yandex.ru, 155
- Костин Виталий Федерович** – канд. техн. наук, доц. каф. механического оборудования металлургических заводов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 132
- Костина Зинаида Ивановна** – канд. техн. наук, доц. каф. химической технологии неметаллических материалов и физической химии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298425, 132
- Крылова Светлана Александровна** – канд. хим. наук, доц. каф. химической технологии неметаллических материалов и физической химии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298425. E-mail svkryl@mail.ru, 132
- Кужина Гульнара Шарифовна** – канд. биолог. наук, ст. преп. ФГБОУ ВПО Сибайский институт (филиал) Башкирский государственный университет. Тел. 8(34775)51560. E-mail kugina@mail.ru, 189
- Куликова Екатерина Владимировна** – канд. техн. наук, доц. каф. прикладной механики и графики ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. Тел. 8(3519)298438, 354
- Курбанова Елена Игоревна** – магистрант каф. технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298431. E-mail tssa@magtu.ru, 311

- Кутлубаев Ильдар Мухаметович** – д-р техн. наук, проф. каф. горных машин и транспортно-технологических комплексов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 68
- Куцендик Вячеслав Иосифович** – канд. техн. наук, доц. каф. технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
Тел. 8(3519)298431. E-mail tssa@magtu.ru, 314
- Лабунский Леонид Вячеславович** – д-р экон. наук, проф. каф. промышленного транспорта ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 6
- Ладыгина Эльвира Рамилевна** – аспирант каф. машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail alesandra001@mail.ru, 277
- Лаптев Егор Аркадьевич** – студ. гр. КАС-09 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail laptev-egor@yandex.ru, 377
- Левандовский Сергей Анатольевич** – канд. техн. наук, доц. каф. обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail levandovskiy@mail.ru, 227
- Лимарев Александр Сергеевич** – канд. техн. наук, доц. каф. технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
Тел. 8(3519)298431. E-mail tssa@magtu.ru, 308
- Лимарев Александр Сергеевич** – канд. техн. наук, доц. каф. технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
Тел. 8(3519)298431. E-mail tssa@mail.ru, 305
- Лобач Сергей Николаевич** – студ. гр. ГМ-08 каф. маркшейдерского дела и геологии (ГМ-08) ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail lobach_sergey@mail.ru, 75
- Логонова Ирина Владимировна** – аспирант каф. обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail eegere@mail.ru, 227
- Лосева Надежда Андреевна** – ассистент каф. математики ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
Тел. 8(3519)298524. E-mail major0767@mail.ru, 48
- Лошкарева Анастасия Дмитриевна** – студ. гр. ТТЬ-11 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 230
- Мажитов Артур Маратович** – аспирант каф. подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
Тел. 8(3519)298534. E-mail artur.mazhitov@yandex.ru, 35
- Мажитов Артур Маратович** – аспирант каф. подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
Тел. 8(3519)298466, 16

- Макарова Ирина Владимировна** – канд. техн. наук, доц. каф. металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail m.irina1976@mail.ru, 115
- Макарушина Ольга Борисовна** – студ. гр. ТТ-09 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 247
- Малаканов Сергей Александрович** – канд. техн. наук, преп. каф. теоретической механики и сопротивления материалов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова.
E-mail samalakanov@mail.ru, 360
- Малашкин Сергей Олегович** – студ. гр. ТТ-09 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 247
- Малова Евгения Николаевна** – студ. гр. ТСПБ-11 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail evgeniyamalova2012@yandex.ru, 263
- Малов Алексей Михайлович** – магистрант гр. ГЭММа-12 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail aleksey.malov@list.ru, 45
- Мальцева Елена Владимировна** – ст. преп. каф. маркшейдерского дела и геологии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. Тел. 8(3519)298540. E-mail e.maltseva@mail.ru, 52
- Манашев Ильдар Рауфович** – канд. техн. наук, инженер-исследователь ООО НТПФ Эталон. Тел. 8(3519)580157. E-mail mirney@yandex.ru, 112, 141
- Маркварт Татьяна Юрьевна** – магистрант каф. технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298431.
E-mail tssa@mail.ru Т.Ю., 305
- Маргынова Ульяна Дмитриевна** – аспирант каф. машин и технологий обработки давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова, 356
- Махоткина Елена Станиславовна** – канд. техн. наук, доц. каф. химической технологии неметаллических материалов и физической химии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 168
- Медведева Екатерина Михайловна** – студ. гр. ТБ-09 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail fekla_med@mail.ru, 241
- Мельников Иван Тимофеевич** – канд. техн. наук, доц. каф. открытой разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
Тел. 8(3519)298556. E-mail werty71@mail.ru, 82
- Мельников Иван Тимофеевич** – канд. техн. наук, доц. каф. открытой разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
Тел. 8(3519)298466. E-mail werty71@mail.ru, 56
- Мельников Илья Иванович** – канд. экон. наук каф. мировой экономики Московского государственного университета управления.
E-mail mlnkv@bk.ru, 56

- Метелкин Анатолий Алексеевич** – ассистент Уральского федерального университета им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал).
E-mail anatoly82@list.ru, 138
- Мешкова Анна Ивановна** – аспирант каф. материаловедения и термической обработки металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail nuts_meshkova@bk.ru, 241
- Мироненков Евгений Иванович** – канд. техн. наук, доц. каф. механического оборудования металлургических заводов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова.
E-mail emironenkov@yandex.ru, 336, 367
- Миронов Антон Олегович** – студ. каф. оборудования металлургических предприятий Новотроицкого филиала НИТУ МИСиС, г. Новотроицк.
Тел. 8(3537)675946, 338
- Миронов Максим Сергеевич** – аспирант каф. теоретической механики и сопротивления материалов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова, 363
- Михайлицын Сергей Васильевич** – канд. техн. наук, доц. каф. машин и технологий обработки давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова, 377
- Михайловский Игорь Александрович** – проф., д-р техн. наук, доц. каф. технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
Тел. 8(3519)298431. E-mail tssa@magtu.ru, 314
- Мишурина Ольга Алексеевна** – канд. техн. наук, доц. каф. химии, технологии упаковочных производств ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail olegro74@mail.ru, 286
- Моллер Александр Борисович** – канд. техн. наук., проф. каф. обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298525.
E-mail moller@hotmail.ru, 227, 234
- Молочкова Ольга Сергеевна** – канд. техн. наук, ст. преп. каф. материаловедения и термической обработки металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова.
Тел. 8(3519)298567. E-mail opetrochenko@mail.ru, 317
- Мохова Наталья Евгеньевна** – магистрант гр. ГТМа-12 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail prtrans@gmail.com, 96
- Музраева Екатерина Александровна** – аспирант каф. машиностроения ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. E-mail katerinkamu@mail.ru, 344
- Мустафина Алина Фаритовна** – студ. гр. ТСА-09 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail sum_out171@mail.ru, 301
- Мухаметзянов Ильдар Шамилович** – студ. механико-машиностроительного факультета ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. E-mail ildarik-777@mail.ru, 360

- Найденова Алина Владимировна** – студ. каф. обработки металлов давлением
ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им.
Г.И. Носова. E-mail alinaeight@mail.ru, 227
- Насонов Вадим Вячеславович** – аспирант каф. обработки металлов давлением
ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им.
Г.И. Носова. E-mail nasonov.vv@mmk.ru, 216
- Насыров Тимур Мухтасарович** – студ. каф. металлургии черных металлов
ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им.
Г.И. Носова. E-mail tim-ur@mail.ru, 115
- Некит Владимир Афанасьевич** – канд. техн. наук, доц. каф. машин и
технологий обработки давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский
государственный технический университет им. Г.И.Носова В.А., 382
- Некрасов Илья Владимирович** – лаборатория пирометаллургии чёрных
металлов ФГБОУН Институт металлургии УрРАН, г. Екатеринбург.
Тел. (343) 2329170. E-mail ivn84@bk.ru, 138
- Несват Константин Константинович** – студ. гр. ГТМа-11 ФГБОУ ВПО
Магнитогорский государственных технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail swaylp@mail.ru, 13
- Нефёдов Андрей Викторович** – канд. пед. наук, доц., зав. каф. оборудования
металлургических предприятий Новотроицкого филиала НИТУ МИСиС,
г. Новотроицк. Тел. 8(3537)675946. E-mail ompnfmisis@yandex.ru, 338
- Нефедова Евгения Викторовна** – канд. пед. наук, доц. каф. математики
и естествознания НФ НИТУ МИСиС. E-mail russkisever@rambler.ru, 186
- Новиков Валерий Иванович** – аспирант каф. прикладной механики и графики
ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И.Носова. E-mail novikov.vi@mrk.mmk.ru, 354
- Новицкий Руслан Витальевич** – начальник сортового цеха ОАО ММК.
Тел. 245415. E-mail novitskiy.rv@mail.ru, 227
- Носов Сергей Константинович** – д-р техн. наук, глава г.Нижний Тагил, 108
- Обломец Максим Владимирович** – аспирант каф. машин и технологий
обработки давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И.Носова, 380
- Овчинникова Елена Владимировна** – студ. ФГАОУ ВПО Национальный
исследовательский технологический университет МИСиС, Новотроицкий
филиал. E-mail elenka.ov4innikova@narod.ru, 125
- Огарков Николай Николаевич** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. технологий
машиностроения ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И.Носова. Тел. 8(3519)298469, 344
- Осинцев Никита Анатольевич** – канд. техн. наук, доц. каф. промышленного
транспорта ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственных технический
университет им. Г.И. Носова. E-mail osintsev@logintra.ru, 3, 6
- Осинцева Марина Геннадьевна** – студ. гр. ГТМа-11 ФГБОУ ВПО
Магнитогорский государственных технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail osintsev@logintra.ru, 3, 6, 13
- Осипов Антон Александрович** – студ. гр. МБЖ-08 ФГБОУ ВПО Магнитогорский
государственный технический университет им. Г.И. Носова, 192

- Павлова Елена Витальевна** – канд. техн. наук, преп. каф. открытой разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
Тел. 8(3519)298556. E-mail pavlova-mgn@rambler.ru, 31, 82
- Павлова Наталья Григорьевна** – начальник лаборатории термической и кузнечно-прессовой обработки службы качества и инжиниринга ЗАО МРК.
E-mail pavlova.ng@mrk.mmk.ru, 321
- Паймулина Анастасия Валерияновна** – студ. гр. ТПП-10 кафедры стандартизации, сертификации и технологии продуктов питания ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail aaaminaaa@mail.ru, 261
- Пауль Алена Анатольевна** – студ. гр. ГТМа-11 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail noise_saleni@mail.ru, 6
- Петров Игорь Михайлович** – аспирант ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail petrov.mgtu@gmail.com, 273
- Петров Сергей Владиславович** – аспирант каф. педагогики и психологии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail sirregaps@gmail.com, 203
- Петрова Ольга Викторовна** – канд. техн. наук, доц. каф. подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
Тел. 8(3519)298466. E-mail prmpi@magtu.ru, 9
- Петроченко Елена Васильевна** – д-р техн. наук, проф. каф. л материаловедения и термической обработки металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
Тел. 8(3519)298567. E-mail evp3738@mail.ru, 317
- Петухов Василий Николаевич** – д-р техн. наук, проф. каф. химической технологии неметаллических материалов и физической химии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
Тел. 8(3519)298433. E-mail chief.petuhov2013@yandex.ru, 172
- Платов Сергей Иосифович** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. машин и технологий обработки давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
Тел. 8(3519)298436. E-mail psipsi@mail.ru, 356
- Плотников Дмитрий Петрович** – студ. каф. открытой разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail iqvsicq@yandex.ru, 82
- Погорелов Андрей Юрьевич** – студ. каф. открытой разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail andreyp.-8831-@mail.ru, 31
- Подбологов Сергей Владимирович** – магистрант гр. ГЭММа-12 каф. горных машин и транспортно-технологических комплексов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 19

- Пономарева Татьяна Борисовна** – инженер каф. химической технологии неметаллических материалов и физической химии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail tatjana.ponomareva@yandex.ru, 165
- Пономарев Антон Павлович** – ст. преп. каф. химии, технологии упаковочных производств ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail antonpron@mail.ru, 293
- Понурко Ирина Витальевна** – канд. техн. наук, доц. каф. химической технологии неметаллических материалов и физической химии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298425. E-mail ironurko@mail.ru, 132
- Прохоров Иван Евгеньевич** – канд. техн. наук, доц. каф. металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298430, 122
- Птицын Евгений Владимирович** – ведущий специалист лаборатории охраны окружающей среды ОАО Магнитогорский металлургический комбинат. Тел. 8(3519)245775, 136
- Пустовойтов Денис Олегович** – канд. техн. наук, ст. преп. каф. обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298525. E-mail pustovoitov_den@mail.ru, 220
- Пыталев Иван Алексеевич** – канд. техн. наук, доц. каф. промышленного транспорта ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298516. E-mail vehicle@list.ru, 56
- Рахмангулов Александр Нельевич** – канд. техн. наук, доц. каф. промышленного транспорта ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298516. E-mail prtrans@gmail.com, 96
- Рачков Иван Александрович** – студ. 2 курса НФ НИТУ МИСиС. E-mail rachkov-ivan@yandex.ru, 186
- Решетникова Елена Сергеевна** – канд. техн. наук, доц. каф. прикладной механики и графики ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298484, 351
- Родин Алексей Олегович** – канд. физ.-мат. наук, доц. НИТУ МИСиС. E-mail rodin@misis.ru, 161
- Романько Елена Александровна** – канд. техн. наук, доц. каф. маркшейдерского дела и геологии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail Romanko_H@mail.ru, 62
- Романюк Александр Иванович** – аспирант каф. промышленного транспорта ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298516. E-mail sash82.09@mail.ru, 65
- Рубин Геннадий Шмульевич** – канд. техн. наук, доц. каф. технологий, сертификации и сервиса автомобилей. E-mail alesandra001@mail.ru, 277
- Румянцев Михаил Игоревич** – канд. техн. наук, проф. каф. обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298570, 224, 329

- Рыбаков Александр Николаевич** – студ. гр. ГЭМ-08, учебный мастер каф. горных машин и транспортно-технологических комплексов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail rok91@mail.ru, 45
- Рыжков Вадим Григорьевич** – канд. техн. наук, доц. филиала ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Белорецк. E-mail rvg.vadim@yandex.ru, 270
- Рябова Вера Федоровна** – ст. преп. каф. стандартизации, сертификации и технологии продуктов питания ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail mad_eln@mail.ru, 263
- Савельева Раиса Николаевна** – канд. техн. наук, доц. каф. механического оборудования металлургических заводов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail sav-r46@yandex.ru, 364
- Савина Юлия Евгеньевна** – ассистент каф. промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
Тел. 8(3519)298488, 184
- Савинов Александр Сергеевич** – канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой теоретической механики и сопротивления материалов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail savinov_nis@mail.ru, 210
- Савинов Евгений Сергеевич** – магистрант гр. КаМА-07 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail Savinov_es@mail.ru, 210
- Савочкина Любовь Викторовна** – канд. техн. наук, доц. каф. прикладной механики и графики ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298484.
E-mail savlv@mail.ru, 351
- Салганик Виктор Матвеевич** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298506.
E-mail chikishev_denis@mail.ru, 216, 220
- Сальников Виталий Владимирович** – канд. техн. наук, доц. каф. технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
Тел. 8(3519)298431. E-mail tssa@magtu.ru, 314
- Сафонова Евгения Сергеевна** – ст. преп. каф. металлургии и стандартизации филиала ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Белорецк. E-mail eva_safonova@mail.ru, 267
- Свечникова Наталья Юрьевна** – канд. техн. наук, доц. каф. химической технологии неметаллических материалов и физической химии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail natasha-svechnikova@yandex.ru, 129

- Свиридова Татьяна Валерьевна** – канд. техн. наук, ст. преп. каф. промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298462. E-mail ntv_3110@mail.ru, 180
- Селиванов Валентин Николаевич** – канд. техн. наук, проф. каф. металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298449. E-mail mchm@magtu.ru, 104
- Семенова Ирина Николаевна** – канд. биолог. наук, доц. ФГБОУ ВПО Сибайский институт (филиал) Башкирский государственный университет. Тел. 8(34775)51560. E-mail alexa-94@mail.ru, 189
- Сергина Юлия Юрьевна** – соискатель ГАНУ Институт региональных исследований Академии наук Республики Башкортостан. E-mail sergei_seregin@bk.ru, 189
- Сибгатуллин Салават Камилевич** – д-р техн. наук, проф. каф. металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298449, 119
- Симонов Павел Семенович** – канд. техн. наук, доц. каф. открытой разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298556. E-mail rgpv-mg@mail.ru, 86
- Снищих Кристина Валерьевна** – магистрант каф. металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298449. E-mail mcm@magtu.ru, 148
- Смирнов Андрей Николаевич** – д-р физ.-мат. наук, зав. кафедрой химической технологии неметаллических материалов и физической химии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298578. E-mail sman@magtu.ru, 129, 141
- Соколова Эльвира Илдаровна** – аспирант каф. промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail Yudina_Elvira@mail.ru, 199
- Соловьёв Александр Геннадьевич** – канд. техн. наук, доц. каф. обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail sag71mgn@yandex.ru, 237
- Стеблянко Валерий Леонтьевич** – д-р техн. наук, проф. каф. химии, технологии упаковочных производств ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298504, 293
- Степанов Павел Александрович** – аспирант каф. обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298525. E-mail stekgroup@mail.ru, 220
- Столяров Александр Михайлович** – д-р техн. наук, проф. каф. металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298449. E-mail mcm@magtu.ru, 158

- Столяров Александр Михайлович** – д-р техн. наук, проф. каф. металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298449.
E-mail mcm@magtu.ru, 148
- Столяров Алексей Юрьевич** – гл. технолог ООО Специальные технологии.
E-mail aleksey_stolyarov@mail.uralcord.ru, 247
- Субботин Владислав Владимирович** – аспирант каф. химической технологии неметаллических материалов и физической химии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
Тел. 8(3519)298433. E-mail vladsbotin@yandex.ru, 172
- Султанов Наиль Ласынович** – аспирант каф. механического оборудования металлургических заводов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова.
E-mail stalevar888@mail.ru, 336, 367
- Сычков Александр Борисович** – д-р техн. наук, проф. каф. материаловедения и термической обработки металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
Тел. 8(3519)298567. E-mail absychkov@mail.ru, 247
- Тагаева Кристина Андреевна** – студ. гр. ТУ-08 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail kristinatagaeva@yandex.ru, 286
- Тарасова Ирина Викторовна** – ассистент каф. стандартизации, сертификации и технологии продуктов питания ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail 1989_snake@mail.ru, 326
- Тихонова Надежда Николаевна** – студ. гр. МГУ-09 химико-металлургического факультета ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И Носова. E-mail nadya8903@mail.ru, 52
- Токарева Наталья Владимировна** – зам. директора научно-исследовательского центра ООО Специальные технологии, 247
- Томилина Нурия Гумаровна** – учебный мастер каф. электротехники и электротехнических систем ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298416.
E-mail t.nuria@yandex.ru, 71
- Томилов Николай Александрович** – студ. гр. ГЭМ-08, учебный мастер каф. горных машин и транспортно-технологических комплексов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail kolianc4@mail.ru, 19
- Точилкин Виктор Васильевич** – д-р техн. наук, проф. каф. механического оборудования металлургических заводов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова.
E-mail toch56@mail.ru, 370, 374
- Трофимова Александра Леонидовна** – сотрудник каф. механического оборудования металлургических заводов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова.
E-mail alecsa-91@ya.ru, 336

- Тулубаева Махаббат Файзулаевна** – аспирант каф. открытой разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298540. E-mail mdig@magtu.ru, 22
- Тютеряков Наиль Шаукатович** – канд. техн. наук, доц., зам. декана механико-машиностроительного факультета по научной работе ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail ntc.mgtu@mail.ru, 336
- Унру Сергей Яковлевич** – начальник управления производства ОАО ММК, 234
- Усанов Михаил Юрьевич** – ст. преп. каф. металлургии и стандартизации филиала ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Белорецк. E-mail barracuda_m@mail.ru, 245
- Филатова Татьяна Александровна** – студ. каф. металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. E-mail filatova.tanechka@mail.ru, 151
- Филиппов Евгений Георгиевич** – канд. физ.-мат. наук, доц. каф. вычислительной техники и прикладной математики ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298563, 68
- Хайруллин Айнур Хатипович** – аспирант НИТУ МИСиС. E-mail aika-88@inbox.ru, 161
- Хамитов Ильдар Мансурович** – студ. гр. КАМа-12 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова, 382
- Хамутских Ксения Сергеевна** – аспирант каф. машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел 8(3519)298512, 213
- Харитонов Вениамин Александрович** – канд. техн. наук, проф. каф. машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298482, 245, 267, 273
- Харрасов Динислам Ринатович** – студ. гр. ГФ-10 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 89
- Харченко Александр Сергеевич** – канд. техн. наук, ст. преп. каф. металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298430, 119
- Хижникова Юлия Игоревна** – студ. гр. ГФ-08 каф. обогащения полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 41
- Хомутов Федор Геннадьевич** – студ. каф. металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 145
- Хренова Елена Петровна** – инженер-технолог ООО НТПФ Эталон. Тел. 8(3519)580157, 112
- Цыгалов Александр Михайлович** – канд. техн. наук, доц., с.н.с. НИСа ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail Ts278305@mail.ru, 89

- Чевычелов Дмитрий Андреевич** – студ. каф. обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail chevyvhelov.dima@mail.ru, 234
- Чепчугов Евгений Александрович** – студ. гр. ГМ-09 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 89
- Чернов Константин Владимирович** – магистрант группы КММА–11 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова, 364
- Чернинцев Вячеслав Дмитриевич** – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298515. E-mail eco_safe@magtu.ru, 136
- Чикишев Денис Николаевич** – канд. техн. наук, доц. каф. обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298525. E-mail chikishev_denis@mail.ru, 220
- Чукин Дмитрий Михайлович** – студ. гр. ТТ-08 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail chukindmitry@gmail.com, 251
- Чукин Михаил Витальевич** – д-р техн. наук, проф., проректор по научной и инновационной работе ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail chukin@magtu.ru, 213
- Шабалин Евгений Иванович** – ст. преп. каф. физики ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail evshab@mail.ru, 165
- Шабалина Юлия Вячеславовна** – ассистент каф. физики ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 165
- Шавакулева Ольга Петровна** – канд. техн. наук, доц. каф. обогащения полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298555, 93
- Шадрин Александр Викторович** – студ. ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. E-mail stalnoytitanic@mail.ru, 370
- Шаймарданов Камиль Рамилевич** – аспирант каф. металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Носова, инженер-исследователь ООО НТПФ Эталон. E-mail kemlmgn@gmail.com, 112
- Шалашова Маргарита Викторовна** – студ. гр. КАМа-12 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова, 382
- Шаповалов Алексей Николаевич** – канд. техн. наук, доц. каф. металлургических технологий ФГАОУ ВПО Национальный исследовательский технологический университет МИСиС, Новотроицкий филиал. E-mail alshpo@yandex.ru, 125, 158
- Шаров Валерий Николаевич** – студ. гр. ГО-10 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 79
- Шагохин Игорь Михайлович** – генеральный директор ООО НТПФ Эталон. Тел. 8(3519) 580-155. E-mail mail@ntpf-etalon.ru, 141

- Швалёва Анна Викторовна** – канд. пед. наук, доц. каф. математики и естествознания ФГБОУ ВПО Национальный исследовательский технологический университет МИСиС (Московский институт стали и сплавов), Новотроицкий филиал. E-mail shvaleva.1978@mail.ru, 100
- Шевцов Николай Сергеевич** – аспирант каф. открытой разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298466. E-mail shevcov.nikolay@gmail.com, 56
- Шевченко Евгений Александрович** – аспирант каф. металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298430. E-mail nfmisis-nis@yandex, 158
- Шеметова Елена Сергеевна** – ассист. каф. технологий машиностроения ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. E-mail Hellensh88@list.ru, 341
- Шешуков Олег Юрьевич** – д-р техн. наук, проф., зав. лабораторией при металлургии чёрных металлов ФГБОУН Институт металлургии УрРАН, г. Екатеринбург. Тел. (343)2679715. E-mail ferro@ural.ru, ferro1960@mail.ru, 138
- Шпилова Наталья Александровна** – начальник химической лаборатории ГОП ОАО ММК. Тел. 8(3519)244548, 165
- Ширшов Михаил Юрьевич** – аспирант каф. металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298430, 122
- Шитов Михаил Викторович** – аспирант каф. обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail mihailschitov@mail.ru, 237
- Шленкина Марина Александровна** – студ. ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. E-mail kakay_prelest@mail.ru, 367
- Шубин Игорь Геннадьевич** – канд. техн. наук, доц. каф. машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел.8(3519)298506. E-mail shubin64@mail.ru, 224, 279, 329
- Шубина Марианна Вячеславовна** – канд. техн. наук, доц. каф. химической технологии неметаллических материалов и физической химии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail shubina_mar@mail.ru, 168
- Шубина Наталья Игоревна** – студ. гр. ТУ-08 факультета технологии и качества ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail natalia-shubina91@yandex.ru, 224, 282
- Шубина Ольга Игоревна** – аспирант каф. обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел.8(3519)298570, 224
- Шеголева Екатерина Анатольевна** – инженер-исследователь ООО НТПФ Эталон. Тел. 8(3519)580157. E-mail kate15.90@mail.ru, 112, 141

- Юдина Светлана Владимировна** – ассистент каф. химической технологии неметаллических материалов и физической химии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail yudinasv1478@mail.ru, 129
- Юсупов Рустам Радикович** – аспирант каф. механического оборудования металлургических заводов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова.
E-mail bel_rust@list.ru, 336, 367
- Ямтеева Эльвира Ринатовна** – аспирант каф. машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail eva.jam@mail.ru, 267
- Янбаева Ляйсан Радиковна** – студ. заочного факультета специальности 130402.65 Маркшейдерское дело ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
E-mail yasmina.khadisova.10@mail.ru, 62
- Янтурина Юлия Данияровна** – аспирант каф. подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
Тел. 8(3519)298466. E-mail yanturinayd@mail.ru, 9

СОДЕРЖАНИЕ

ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА И ТРАНСПОРТА

М.Г. Осинцева, Н.А. Осинцев Оценка безопасности городских пассажирских перевозок с применением теории нечетких множеств	3
А.А. Пауль, Л.В. Лабунский, М.Г. Осинцева, Н.А. Осинцев Структура и виды дорожных конфликтов	6
В.Н. Калмыков, О.В. Петрова, Ю.Д. Янтурина Обоснование области применения подземной геотехнологии при разработке малоэффективных месторождений	9
К.К. Несват, М.Г. Осинцева Анализ причин и последствий ДТП на федеральных и региональных дорогах РФ	13
А.Б. Аллабердин, А.М. Мажитов Геомеханическое обоснование камерно-целикowego порядка отработки рудных тел залежи №6 Юбилейного месторождения	16
А.Д. Кольга, Н.А. Томилов, С.В. Подболотов Энергосберегающая конструкция центробежного насоса	19
Е.А. Горбатова, О.С. Колесатова, С.О. Картунова, М.Ф. Тулубаева Анализ геологических особенностей месторождения «Подотвальное»	22
А.Л. Анисимов Автоматность моноида обобщенных кос	27
С.Е. Гавришев, В.Ю. Заляднов, Е.В. Павлова, А.Ю. Погорелов Обоснование увеличения параметров карьера при отработке пологих залежей полезного ископаемого на примере месторождения «Хусаинова гора»	31
С.А. Корнеев, А.М. Мажитов, В.С. Корнеева, Б.Н. Клебан Проектные решения по доработке рудных тел № 3, 5 Камаганского месторождения подземным способом	35
И.А. Гришин, В.Ш. Галямов, З.М. Билалова Аналитическое сравнение магнитных систем для обезжелезнения нерудных материалов	38
О.Е. Горлова, Ю.И. Хижникова Замена аэрационных узлов машин ФПМ на аэрационные узлы «РИФ» фирмы РИВС для повышения качества концентратов Александринской горнорудной компании	41

А.Н. Дутченко, А.М. Малов, А.Н. Рыбаков, Б.М. Габбасов Применение высоконапорных поршневых насосов для откачки шахтного шлама	45
Ю.А. Извеков, Е.В. Кобелькова, Н.А. Лосева Аналитическая оценка пластической деформации несущих конструкций металлургических мостовых кранов	48
Е.В. Мальцева, Н.Н. Тихонова Имена великих ученых в географии – Михаил Васильевич Ломоносов. 52	52
И.Т. Мельников, И.А. Пыталев, И.И. Мельников, Н.С. Шевцов Гидротранспортная система хвостового хозяйства ОАО «ССГПО»: история, современное состояние и перспективы развития	56
Е.А. Романько, Л.Р. Янбаева Особенности геолого-маркшейдерского обеспечения подземных горных работ на Узельгинском месторождении ОАО «Учалинский ГОК»	62
А.И. Ромانيук, С.Н. Корнилов Изменение конструкции железнодорожных путей ОАО «ММК» на основании из деревянных шпал с целью увеличения характеристик прочности и продления сроков эксплуатации	65
А.Д. Волошук, И.Г. Жиденко, И.М. Кутлубаев, Е.Г. Филиппов Математическое моделирование кинематики задающего устройства антропоморфного манипулятора	68
С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, Н.Г. Томилина, А.В. Генкель Оценка эффективности применения крутонаклонных подъемников для транспортирования горной массы при комбинированном способе разработки месторождений	71
Е.А. Емельяненко, С.Н. Лобач Особенности маркшейдерских работ при прокладке коммуникаций бестраншейной технологией	75
Н.Г. Караулов, А.Р. Белан, В.Н. Шаров Обоснование способа удаления скальной вскрыши при разработке месторождений мрамора	79
И.Т. Мельников, В.Ю. Заляднов, Е.В. Павлова, Д.П. Плотников Обоснование целесообразности развития научных исследований прочностных свойств горных пород для определения параметров бортов карьеров	82
П.С. Симонов, Д.А. Герасимов Ледокольные работы с использованием взрыва	86

А.М. Цыгалов, Е.А. Чепчугов, Д.Р. Харрасов
Влияние скоростного режима работы мельницы доизмельчения на прирост расчетного класса крупности 89

О.П. Шавакулева, Т.А. Васильева, Г.Д. Зобнин
Исследование гранулометрических характеристик титаномагнетитовой руды 93

А.Н. Рахмангулов, Н.Е. Мохова
Параметры и показатели грузопотоков в системе управления внешними перевозками машиностроительных предприятий 96

А.В. Швалёва
Анализ множественной корреляционной зависимости ударной вязкости стали от массовой доли фосфора и размера листового проката С345 ... 100

ХИМИКО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

В.А. Бигеев, В.Н. Селиванов, В.Г. Дружков
Кафедре металлургии черных металлов МГТУ 75 лет 104

С.К. Носов, В.А. Бигеев
История броневого производства на Магнитогорском металлургическом комбинате 108

А.Е. Букреев, И.Р. Манашев, К.Р. Шаймарданов, Е.А. Щеголева, Е.П. Хренова
Достижения инновационного предприятия ООО «НТПФ «ЭТАЛОН» за четверть века 112

В.Г. Дружков, И.В. Макарова, Т.М. Насыров
Производство нового вида железорудного сырья для доменных печей – агломератшей по японской и украинской технологиям 115

С.К. Сибгатуллин, Д.Н. Гушин, А.С. Харченко, Н.А. Биденко
Производительность агломерационной установки при повышении содержания железа изменением соотношения концентратов ОАО «ММК» и Лебединского ГОК 119

В.Г. Дружков, А.И. Ваганов, И.Е. Прохоров, М.Ю. Ширшов
Необходимость и возможность оснащения современных доменных печей системами автоматического распределения дутья нового поколения .. 122

Е.В. Овчинникова, А.Н. Шаповалов
Влияние параметров загрузки на показатели работы доменной печи № 3 ОАО «Уральская сталь» 125

С.П. Клочковский, Н.Ю. Свечникова, А.Н. Смирнов, С.В. Юдина
Комплексная переработка высокомагнезиальных сидеритовых руд. Моделирование и эксперимент 129

З.И. Костина, С.А. Крылова, И.В. Понурко, В.Ф. Костин Способы демагнизации сидероплезитов с повышенным содержанием соединений магния	132
В.Д. Черчинцев, О.Ф. Дробный, Е.В. Птицын Совершенствование системы аспирации доменной печи №2 ОАО «ММК» с целью снижения негативного воздействия на окружающую среду	136
А.А. Метелкин, О.Ю. Шешуков, И.В. Некрасов Исследование оптимального содержания оксида магния в шлаке с целью увеличения стойкости футеровки металлургических агрегатов на участке внепечной обработки стали КЦ ЕВРАЗ НТМК	138
И.М. Шатохин, Е.А. Щеголева, И.Р. Манашев, С.П. Клочковский, А.Н. Смирнов Исследование процесса получения активного оксида магния высокой чистоты для металлургического производства	141
Б.А. Буданов, Ф.Г. Хомутов Экзотермический нагрев металла при циркуляционном вакуумировании	145
А.М. Столяров, К.В. Синицких Оценка количества конвертерного шлака, попадающего в ковш при выпуске металла из агрегата	148
Т.А. Филатова, Ю.А. Колесников Особенности окисления углерода в кислородном конвертере при разных способах подачи дутья	151
А.В. Коротин, Э.В. Дюльдина Шлакообразование в промежуточном ковше МНЛЗ	155
Е.А. Шевченко, А.М. Столяров, А.Н. Шаповалов Анализ условий получения узких граней слябовой непрерывнолитой заготовки без дефекта «выпуклость»	158
А.Х. Хайруллин, А.А. Ицкович, С.Н. Жевненко, А.О. Родин Исследование зернограницной диффузии никеля в медно-кобальтовые сплавы	161
Т.Б. Понамарева, Е.И. Шабалин, Ю.В. Шабалина, Н.А. Шипилова Определение химического состава природных и техногенных ресурсов на базе энергодисперсионного рентгеновского спектрометра ARL QUANT'X	165
Е.С. Махоткина, М.В. Шубина Извлечение ванадия из шлака процесса ГТМКЗ	168

В.Н. Петухов, В.В. Субботин, М.А. Ильина Исследование влияния эффективности действия реагентов-собирателей при флотации сфлокулированной угольной мелочи	172
И.А. Афонин Повышение эффективности работы тканевых фильтров в холодный период года	175
Е.А. Афолина Улучшение условий труда при обслуживании аспирационных систем	177
Т.В. Свиридова К вопросу обоснования устойчиво безопасных параметров бортов карьеров, используемых для размещения промышленных отходов с целью обеспечения экологической безопасности	180
Ю.Е. Савина Исследование влияния технологических параметров СУУ-4 на степень улавливания диоксида серы и разработка мероприятий по снижению сульфосодержащих отложений в скруббере	184
Е.В. Нефедова, И.А. Рачков Изучение экологических аспектов переработки отходов металлургического производства	186
И.Н. Семенова, Г.Ш. Кужина, Ю.Ю. Серегина Формы миграции тяжелых металлов в донных отложениях верховья р. Белая	189
А.А. Осипов Влияние щелочного аэрозоля на вечнозеленые компоненты урбосистем на примере г. Магнитогорска	192
Ю.А. Галкин, Д.О. Дробный, О.Ф. Дробный Разработка технологии разложения отработанных смазочно-охлаждающих жидкостей прокатных станов ЛПЦ-5 ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»	195
Э.И. Соколова Применение канонического и регрессионного анализа для оценки корреляции факторизованных условий труда и травматизма в черной металлургии	199
С.В. Петров Снижение уровня конфликтогенности в диаде «преподаватель-студент» при помощи развития эмпатии студентов вуза: общие аспекты	203
И.А. Вахрушева Комплекс педагогических условий процесса развития математической направленности студентов технического вуза	207

А.С. Савинов, Л.Б. Долгополова, Е.А. Анисимова, Р.М. Байбатыров, Е.С. Савинов
Исследование температурных деформаций, возникающих при температурном градиенте стенки отливки 210

ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНОЛОГИЙ И КАЧЕСТВА

М.В. Чукин, Э.М. Голубчик, К.С. Хамутских
Возможности применения фрактальных множеств при управлении показателями качества в технологических системах 213

В.М. Салганик, М.С. Гушина, В.В. Насонов
Математические модели для прогноза механических свойств холоднокатаной автолистовой стали 216

В.М. Салганик, П.А. Стеканов, Д.Н. Чикишев, Д.О. Пустовойтов
Разработка технологии производства толстолистового проката из трубных экономнолегированных сталей 220

М.И. Румянцев, И.Г. Шубин, О.И. Шубина, Н.И. Шубина
Использование статистических методов для оценки влияния технологических факторов на качество холоднокатаного оцинкованного проката 224

А.В. Найденова, И.В. Логинова, С.А. Левандовский, А.Б. Моллер, Р.В. Новицкий
Повышение эффективности производства пруткового проката на основе комплексной оценки качества продукции 227

А.Н. Завалицин, Г.Я. Камалова, А.Д. Лошкарева, Е.В. Кожевникова
Влияние термообработки на структуру трубной стали 230

Д.А. Чевычелов, А.Б. Моллер, С.Я. Унру
Совершенствование калибровки валков на стане «170» ОАО «ММК» 234

А.Г. Соловьёв, М.В. Шитов
Повышение энергоэффективности комплекса МНЛЗ – стан горячей прокатки 2000 237

Е.М. Медведева, Э.М. Голубчик, Ю.Ю. Ефимова, А.И. Мешкова
Исследование лазерных сварных швов металлопроката, полученных в условиях нового комплекса холодной прокатки ОАО «ММК» 241

В.А. Харитонов, М.Ю. Усанов
Моделирование процесса структурообразования в углеродистой проволоке при радиально-сдвиговой протяжке 245

А.Ю. Столяров, Н.В. Токарева, А.Б. Сычков, О.Б. Макарушина, С.О. Малашкин Математическое и физическое моделирование структурообразования при патентировании высокоуглеродистой катанки и проволоки	247
А.С. Ишимов, М.С. Жеребцов, Д.М. Чукин Моделирование процессов с большими степенями накопленной деформации на исследовательском комплексе GLEEBLE 3500	251
И.А. Долматова, М.А. Зяблицева Влияние овощных цукатов на качество и безопасность йогуртов	255
Е.С. Вайскрובה, Р.Н. Абдрахманова Обоснование применения системы хассп при производстве ферментированного мясного соуса	258
Н.И. Барышникова, А.В. Паймулина Пути обогащения мучных кондитерских изделий стевией	261
Т.Н. Зайцева, В.Ф. Рябова, Е.Н. Малова Исследование потребительского рынка творога г. Магнитогорска	263
В.А. Харитонов, Э.Р. Ямтеева, Е.С. Сафонова Разработка методики расчета параметров преформации проволок при свивке каната с применением программного комплекса DEFORM 3D	267
В.Г. Рыжков Определение корней характеристических уравнений задач теплопроводности с помощью программы MATHCAD	270
В.А. Харитонов, И.М. Петров Совершенствование технологических процессов производства низкоуглеродистой бунтовой арматурной стали	273
Э.Р. Ладыгина, М.П. Барышников, Г.Ш. Рубин Оценка подразделения по результатам внутреннего аудита	277
И.Г. Шубин, Е.А. Бурмистрова Анализ причин появления «трещин» на листовом прокате трубных марок стали при производстве на ШСГП	279
Н.И. Шубина, Х.Я. Гирева Композиционные материалы на основе вторичного полимерного сырья	282
О.А. Мишурина, К.А. Тагаева Исследование влияния композиционного состава по волокну на влагонепрочностные свойства исходного сырья при производстве картонных втулок	286

Л.А. Бодьян, Н.А. Грачева Разработка дизайна обложки книги	289
В.Л. Стеблянко, А.П. Пономарев Моделирование и анализ процессов обработки материалов с целью оптимизации качества получаемой продукции	293
А.Н. Завалишин, Д.А. Горленко, К.Н. Вдовин Влияние температуры отпуска на структурные составляющие в индифинитном чугуна	298
С.В. Зотов, М.А. Зюзина, А.Ф. Мустафина Перспективные методы производства автокомпонентов из порошковых материалов	301
А.С. Лимарев, Т.Ю. Маркварт Влияние поверхностных дефектов на качество холоднокатаного автомобильного листа	305
О.С. Коростелева, А.С. Лимарев Снижение объема проката немерной длины на сортовых станах	308
Е.Г. Касаткина, Е.И. Курбанова Анализ уровня качества стального листа с полимерным покрытием с целью повышения потребительских свойств готовой продукции	311
И.Г. Гун, И.А. Михайловский, В.В. Сальников, В.И. Куцепендик, Е.И. Гун Расчетное определение основных прочностных показателей элементов шасси автомобиля, содержащих шаровые шарниры	314
Е.В. Петроченко, О.С. Молочкова, А.А. Ахметова Влияние дополнительного легирования на структуру и свойства жаростойких чугунов	317
Н.Г. Павлова, О.А. Долгачева Разработка и внедрение технологии термической обработки рабочих валков холодной прокатки листопрокатных станов ОАО «ММК» при освоении их производства в условиях ЗАО «МРК»	321
Н.Л. Калугина, И.А. Варламова, Д.А. Калугин, Н.А. Варламова Цементационное извлечение меди из растворов и различных материалов	323
О.В. Зинина, И.В. Тарасова, Е.В. Гаврилова Направления рационального использования биомодифицированного коллагенсодержащего сырья	326

Е.Н. Бородина, И.Г. Шубин, М.И. Румянцев
Комплексный показатель качества для оценки сквозной технологии
производства метизных изделий 329

МЕХАНИКО-МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Е.И. Мироненков, Н.Ш. Тютеряков, Р.Р. Юсупов, Н.Л. Султанов,
А.Л. Трофимова**
Анализ изменения коэффициента трения в зубчатых передачах после
обработки карбонитрированием 336

А.О. Мионов, А.В. Нефедов
Повышение эффективности процесса выгрузки угля из вагонов
ОАО «РЖД» за счет совершенствования вагоноопрокидывателя
углеподготовительного цеха КХП ОАО «Уральская сталь» 338

Е.С. Шеметова
Влияние упругих деформаций на устойчивость пластической
деформации во внеконтактной зоне при волочении длинномерных
изделий 341

Е.А. Мурзаева, Н.Н. Огарков
Сравнительная оценка влияния стыков на жесткость технологической
системы на примере прокатных станков 344

А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов
Методология постановки краевых задач теории надежности
трибосистем 347

**В.И. Кадошников, Е.С. Решетникова, И.Д. Кадошникова,
Л.В. Савочкина**
Экспериментальное исследование технологии изготовления фланцевых
болтов 351

В.И. Кадошников, В.И. Новиков, Е.В. Куликова
Моделирование тепловой деформации колонн ковочного прессы 354

С.И. Платов, Р.Р. Дема, У.Д. Мартынова, Р.Н. Амиров
Применение нейронных сетей для прогнозирования изменения
текущего профиля рабочих валков клетки «кварто» 356

О.С. Железков, С.А. Малаканов, И.Ш. Мухаметзянов, В.В. Карпец
Компьютерное моделирование процесса формирования
трапецеидального профиля волочением в монолитных и роликовых
волоках 360

О.С. Железков, М.С. Мионов, Е.П. Кашапова
Испытания механических свойств материалов, полученных
самораспространяющимся высокотемпературным синтезом 363

Р.Н. Савельева, В.П. Анцупов, К.В. Чернов Повышение срока службы опорно-упорного подшипника воздушного компрессора К-1500 и К-3000 кислородного цеха ОАО «ММК»	364
Ю.В. Жиркин, Е.И. Мироненков, Н.Л. Султанов, Р.Р. Юсупов, М.А. Шленкина Повышении эффективности подачи смазочного материала в подшипники качения тянущих роликов стана 2000 Х/П ОАО «ММК»	367
В.В. Точилкин, А.В. Шадрин Разработка манипуляторов с гибкими элементами машин и агрегатов сталеплавильного производства	370
Н.В. Биктимиров, Е.И.Канаева, В.В. Точилкин Разработка манипуляторов и устройств для отсечки шлака при разливке металла из сталеплавильных агрегатов	374
Е.А. Лаптев, С.В. Михайлицын, А.И. Беляев Сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов	377
М.В. Обломец Пути повышения стойкости подшипниковых узлов прокатных валков сортовых станов	380
В.А. Некит, М.В. Шалашова, И.М. Хамитов Технологические основы прокатки сверхтонких полос на стане горячей прокатки	382
Сведения об авторах	384

Научное издание

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ
НАУКИ, ТЕХНИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ**

**Материалы 71-й межрегиональной
научно-технической конференции**

Том 1

Под редакцией В.М. Колокольцева

Редактор Н.В. Кутекина
Оператор компьютерной верстки Е.А. Назарова

Подписано в печать 27.09.2013. Рег. № 122-13. Формат 60x84/16. Бумага тип. №1.
Плоская печать. Усл.печ.л. 26,0. Тираж 200 экз. Заказ 554.



Издательский центр ФГБОУ ВПО «МГТУ»
455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Полиграфический участок ФГБОУ ВПО «МГТУ»