

Министерство образования и науки Российской Федерации
ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И.Носова»
ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»
ЗАО «Механоремонтный комплекс»
ООО Научно-производственное объединение «Фэйт-М»

*Посвящается 35-летию
кафедры «Электросталлургия
и литейное производство»*

ЛИТЕЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Выпуск 9

Межрегиональный сборник научных трудов

Под редакцией В.М. Колокольцева

Магнитогорск
2010

УДК 621.74

Редакционная коллегия:

В.М.Колокольцев – *гл. научный редактор*, проф., д-р техн. наук
(ГОУ ВПО «МГТУ»);

Л.Б.Долгополова – *научный редактор*, доц., канд. техн. наук
(ГОУ ВПО «МГТУ»);

К.Н.Вдовин – проф., д-р техн. наук (ГОУ ВПО «МГТУ»);

Б.А.Кулаков – проф., д-р техн. наук (ГОУ ВПО «ЮУрГУ»,
г.Челябинск);

А.Ф.Миляев – проф., канд. техн. наук (ГОУ ВПО «МГТУ»);

Р.К.Мысик – проф., д-р техн. наук (ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ»,
г.Екатеринбург);

В.П.Чернов – проф., д-р техн. наук (ГОУ ВПО «МГТУ»)

Хосен Ри – проф., д-р техн. наук (ГОУ ВПО «ТГТУ»)

Литейные процессы: межрегион. сб. науч. тр. / под ред.
В.М.Колокольцева. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. Вып.9.
270 с.

ISBN 978-5-9967-0140-7

В сборнике, посвященном 35-летию кафедры «Электрометаллургия и литейное производство», представлены результаты теоретических, экспериментальных и промышленных научно-исследовательских работ специалистов в области литейного производства, а также близких к нему областей — металловедения и металлургии черных металлов.

УДК 621.74

ISBN 978-5-9967-0140-7

© ГОУ ВПО «МГТУ», 2010

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО
ГЛАВНОГО НАУЧНОГО РЕДАКТОРА

Вниманию научной общественности представлен девятый выпуск сборника научных трудов «Литейные процессы», посвященный 35-летию кафедры электрометаллургии и литейного производства. В статьях изложены материалы теоретических, практических, экспериментальных и лабораторных исследований ведущих ученых, специалистов, докторантов, аспирантов, студентов в области литейного производства, работающих в вузах, организациях, на предприятиях России: разработка новых составов сплавов, выплавка, рафинирование, легирование, модифицирование и разливка сплавов, кристаллизация сплавов и затвердевание отливок, совершенствование технологии литейной формы и новые процессы формообразования, САПР и математическое моделирование литейных процессов, экология и экономика.

Ректор МГТУ

Колокольцев В.М.

Раздел 1

ЛИТЕЙНЫЕ СПЛАВЫ

УДК 621.746.33

К.Н. Вдовин, Н.А. Феоктистов

Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова

СТОЙКОСТЬ ШЛАКОВЫХ ЧАШ В УСЛОВИЯХ ОАО «ММК»

Одним из видов сменного оборудования, без которого невозможно представить цикл работы металлургического предприятия, является шлаковая чаша, предназначенная для приема жидкого шлака из плавильных агрегатов и транспортировки его на шлаковые отвалы.

Проанализировав причины вывода шлаковых чаш из работы в кислородно-конвертерном и доменном цехах Магнитогорского металлургического комбината (ММК), выявили, что порядка 50% всех чаш выходит из строя по причине образования трещин (рис. 1, 2).

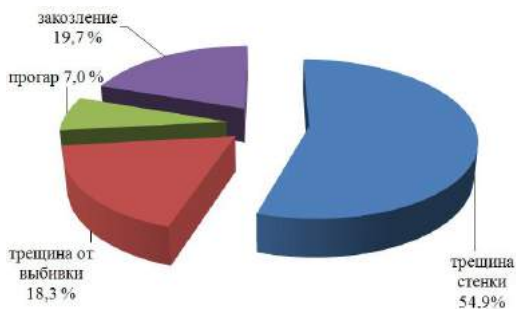


Рис. 1. Доли причин вывода из работ шлаковых чаш в доменном цехе ОАО «ММК»

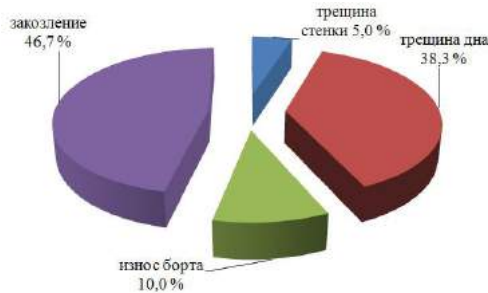


Рис. 2. Доли причин вывода из работы шлаковых чаш в кислородно-конвертерном цехе ОАО «ММК»

Шлаковые чаши работают в условиях действия высоких температур, испытывают циклические перемены температуры и переменные механические нагрузки, поэтому надёжность работы металла, из которого изготавливают чаши, оценивается не только прочностью, но и пластичностью, которую он сохраняют до конца службы. Следовательно, важной характеристикой сплава, работающего в таких условиях, является запас пластичности, который определяется такими механическими свойствами, как предел текучести, относительное удлинение и сужение, ударная вязкость [1]. Повысив пластичность, можно добиться снижения количества образующихся трещин, тем самым увеличить стойкость чаш, которая выражается числом наливов жидкого шлака.

Наряду с объективными причинами вывода из работы чаш, проанализировали зависимость количества наливов от механических свойств, которые определяют на приливных образцах, перед запуском чаши в эксплуатацию. Наиболее четко прослеживаются зависимости количества наливов от ударной вязкости и предела текучести, представленные на рис. 3, 4.

Проанализировав представленные зависимости, выявили, что при увеличении ударной вязкости и предела текучести на образцах происходит увеличение стойкости шлаковых чаш, что хорошо сочетается с данными источника [1]. В свою очередь, ударная вязкость и предел текучести могут охарактеризовать пластические свойства металла, из которого заливают чаши. На эти свойства стали марки 25Л, по мнению А.А. Филиппенкова, сильное влияние оказывают следующие элементы: S, Mn, Si, не считая углерода [2].

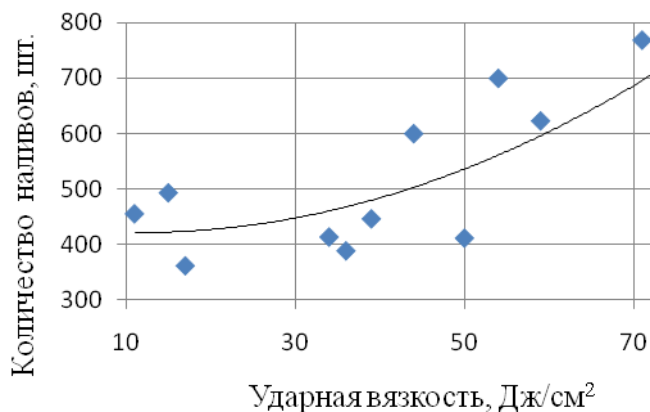


Рис. 3. Зависимость количества наливов от ударной вязкости

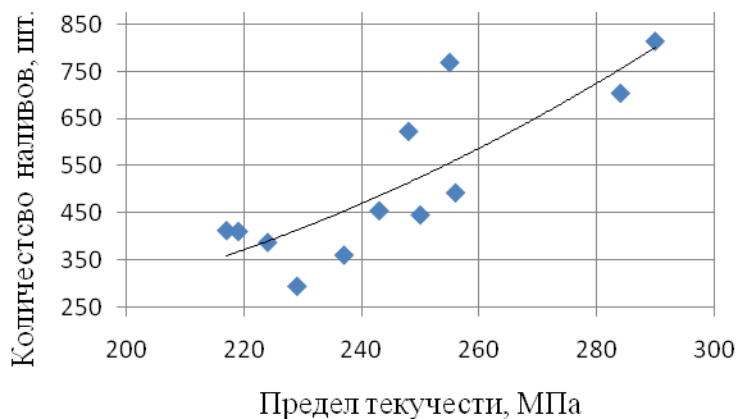


Рис. 4. Зависимость количества наливов от предела текучести

Сера оказывает отрицательное влияние на данные свойства. Негативное влияние серы проявляется в том, что она практически не растворяется в γ -Fe. При этом образуется сульфид железа

(FeS), входящий в эвтектику $\gamma + \text{FeS}$. Она в процессе кристаллизации стали располагается по границам зёрен и при наличии напряжений способствует межзёрённому разрушению, а также снижению ударной вязкости и предела текучести.

Марганец оказывает положительное влияние на пластические свойства металла (рис. 5, 6). Увеличение содержания марганца в стали способствует повышению ударной вязкости и предела текучести, что подтверждается зависимостями, представленными на рис. 5, 6. Подобное действие марганца обусловлено взаимодействием его с серой, в результате чего образуется сульфид марганца, являющийся центром кристаллизации и, впоследствии, будет находиться в центре зерна. Влияние такого расположения сульфида марганца менее губительно, чем расположение сульфида железа по границам зёрен. Но образование сульфида будет происходить при отношении $\text{Mn/S} > 1,71$ [3]. При чрезмерно высоком содержании марганца будет происходить выделение карбидов, что приведёт к снижению пластичности металла.

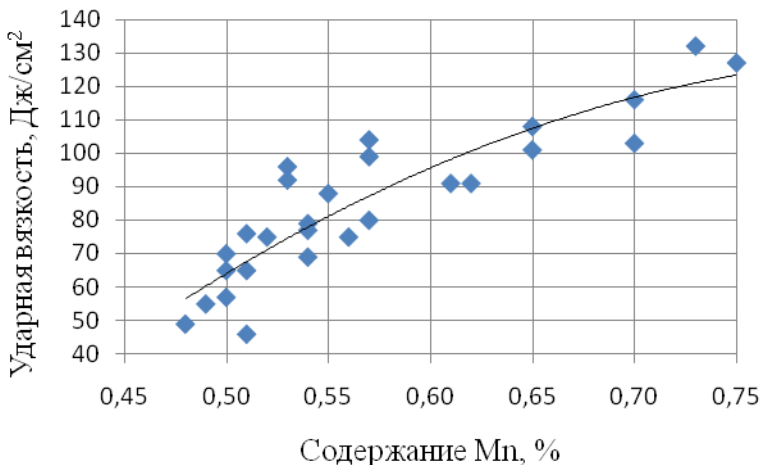


Рис. 5. Зависимость ударной вязкости от содержания марганца

Кроме того, марганец образует легкоплавкие силикаты, которые способствуют удалению неметаллических включений за счёт флотирующего действия, оказывая положительное влияние на механические свойства металла.

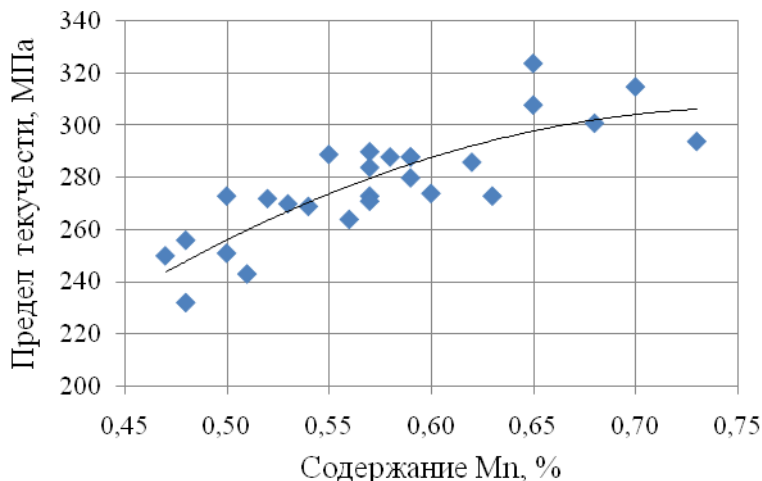


Рис. 6. Зависимость предела текучести от содержания марганца

В металле, из которого заливались шлаковые чаши в литейном цехе ЗАО «МРК», обнаружены примеси ванадия в пределах 0,001–0,10. При прочих равных условиях, ванадий значительно повышает ударную вязкость и предел текучести.

На рис. 7, 8 представлены зависимости ударной вязкости и предела текучести от содержания ванадия.

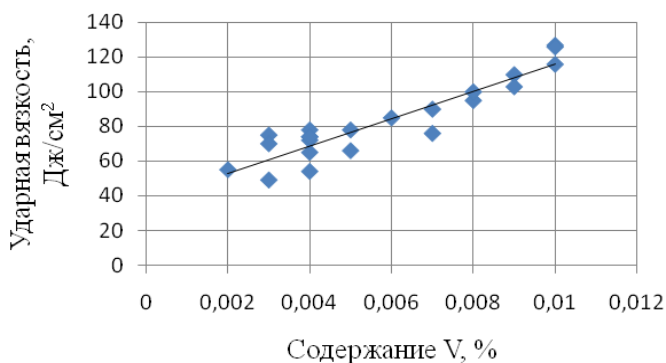


Рис. 7. Зависимость ударной вязкости от содержания ванадия

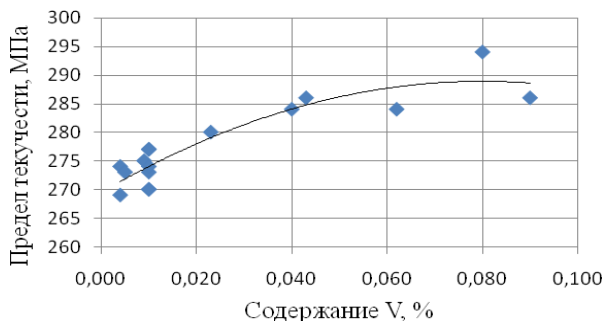


Рис. 8. Зависимость предела текучести от содержания ванадия

Легирование стали ванадием приводит к выделению его карбонитридов, которые выделяются в феррите и лишь небольшое количество – в аустените. Это приводит к измельчению зерна (рис. 9).

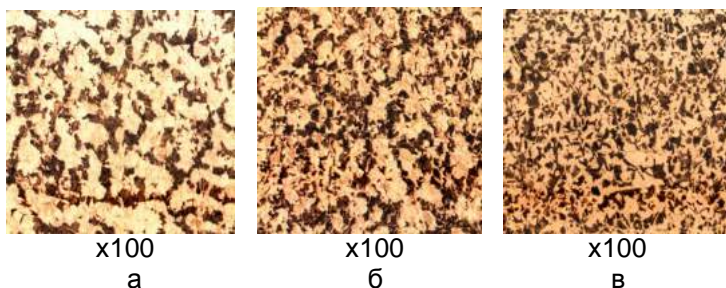


Рис. 9. Влияние ванадия на микроструктуру стали марки 25Л:
а – 0,001% V; б – 0,01% V; в – 0,02% V

Очевидно, что при содержании ванадия в стали 0,001% балл зерна 6, при 0,01% – балл зерна 6–7, при 0,02% – 8. После отбора пробы из тела отработанной чаши, установлено, что в процессе её эксплуатации происходит рост зерна до 4 балла, что значительно снижает механические пластические свойства и приводит к образованию трещин. Рост зерна могут остановить карбиды ванадия. Но при малом количестве (< 0,1%) карбиды ванадия не оказывают значительного тормозящего эффекта.

Ещё одним свойством, характеризующим пластичность металла, является относительное удлинение. Повышенное содержание марганца и ванадия (рис. 10, 11) оказывает положительное влияние на это свойство.

Увеличение содержания ванадия и марганца в металле способствует повышению относительного удлинения, что положительно сказывается на его пластических свойствах.

По данным источника [2], комплексное влияние марганца может способствовать более интенсивному измельчению зерна в силу того, что марганец понижает температуру области аустенизации, тем самым расширяя её и увеличивая степень переохлаждения, а между количеством образующихся карбидов, их дисперсностью существует прямая пропорциональность.

В настоящее время на кафедре электрометаллургии и литейного производства ГОУ ВПО «МГТУ» им. Г.И. Носова проводятся исследования по определению оптимального содержания ванадия и марганца.

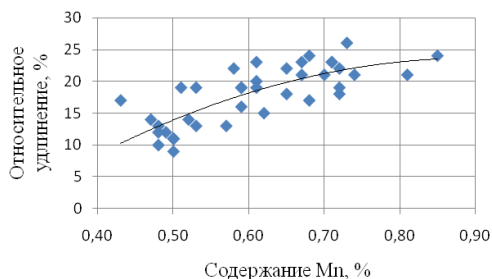


Рис. 10. Зависимость относительного удлинения от содержания ванадия

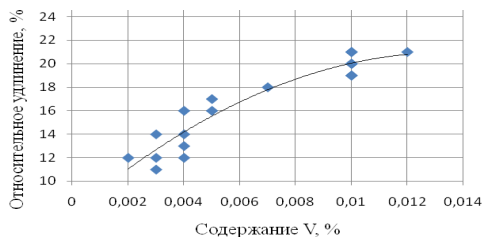


Рис. 11. Зависимость относительного удлинения от содержания марганца

Из представленных выше данных можно сделать вывод, что комплексное микролегирование стали марганцем и ванадием способствует увеличению пластических свойств металла. Определение оптимального содержания вышеперечисленных элементов в стали способствует измельчению зерна, что приводит к повышению ударной вязкости и предела текучести. Это приводит к повышению стойкости шлаковых чаш.

Библиографический список

1. Масленков С.Б. Жаропрочные стали и сплавы: справочник. М.: Металлургия, 1983. 192 с.
2. Филиппенков А.А. Ванадийсодержащие стали для отливок. Екатеринбург, 2001. 348 с.
3. Козлов Л.Я., Колокольцев В.М., Вдовин К.Н. Производство стальных отливок. М.: МИСиС, 2005. 352 с.

УДК 669.018

М.А. Иоффе, М.А. Близников

Северо-западный государственный заочный
технический университет, г. Санкт-Петербург

МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТА ДОПУСТИМЫХ ИНТЕРВАЛОВ СОДЕРЖАНИЯ КОМПОНЕНТОВ В ЛИТЕЙНЫХ СИСТЕМАХ

Существующие методики создания новых сплавов – «синтез сплавов» [1], «инжиниринг материалов» [2] и др. – не рассматривают задачу расчёта допустимых интервалов (интервалов варьирования, допусков) содержания компонентов, составляющих физико-химическую систему (сплав). Решение такой и подобных задач имеет скудный инструментарий и слабую методологическую базу.

Допустимые интервалы содержания компонентов, составляющих физико-химическую систему, выступают как один из гарантийных инструментов получения качественного продукта, т.е. получения состава, отвечающего требуемому (заданному) уровню свойств(а). Это является важным и необходимым условием по

экономическим, технологическим, методологическим и другим соображениям на всем периоде эксплуатации сплава. Часто контроль комплекса свойств системы и их количественного уровня осуществляется косвенным методом через определение химического состава и поддержание содержания компонентов, близкого к уровню базового состава. Добиться идеально точных значений концентраций в целом невозможно, но степень точности, с которой это обеспечивается, определяет точность и стабильность технологического прогресса. С другой стороны, иногда нет необходимости добиваться высокой точности, что существенно упрощает технологический процесс.

Решение подобной задачи в настоящее время опирается, главным образом, на метод экспертных оценок, некие статистические данные, получаемые в ходе исследования и промышленных испытаний, а также эмпирически выведенные формулы [1], точность которых, по мнению автора [1], низкая.

Задача расчета допустимых интервалов является одной из заключительных в обобщенной теории разработки новых сплавов и физико-химических систем в целом, и для её решения необходимо выполнение следующих условий:

1. Решить предыдущие задачи, например: выявление зависимости и/или создание математической модели связи между составом и свойством; создание математической модели, описывающей химический состав; нахождение оптимального варианта состава и т.п., так как ответы в одной задаче являются начальными условиями для другой.

2. Сформулировать критерии (принципы, ограничения), на основании которых получившийся ответ в ходе решения задачи считать верным (достаточным) или приемлемым.

Методики разработки новых сплавов, которые и являются предыдущими задачами, широко изложены в литературе, поэтому несколько подробнее остановимся на втором условии.

В целом задача рассматривается относительно свойства или в направлении свойства, т.е. решается вопрос, какой должен быть состав с учетом интервалов содержания компонентов, чтобы получить требуемый (заданный) уровень свойства.

В простейшем случае допустимые интервалы содержания компонентов состава представляют отрезки на концентрационной линии, например в двойной системе (двухкомпонентной диаграмме). Это происходит из-за барицентрических координат, которые понижают размерность пространства (в отличие от декартовых,

где два параметра уже образуют плоскость). Кроме того, нет необходимости формировать допустимые интервалы для всех n компонентов, а достаточно только для $n-1$ компонентов. Чем больше компонентов, составляющих физико-химическую систему, тем выше размерность области (гиперобласти). Анализ функции, а точнее гиперфункции, отображающей взаимосвязь между составом и свойствами, провести довольно сложно, кроме того, может отсутствовать визуальное (графическое) представление функции. Но в нём и нет необходимости, если проводить анализ не функции, а области (гиперобласти) через составление таблиц с помощью комбинаторики и вести обработку данных с помощью статистических приёмов и методов. Гиперобласть также не всегда возможно начертить, изобразить или представить, но это не мешает её анализировать. Поэтому для сравнения областей (как изменилась область после манипуляций с ней) удобно пользоваться количеством составов (вариантов), которые определяются при помощи комбинаторики. Пересечение интервалов образует область (гиперобласть), которая отражается на поверхности отклика. В свою очередь, участок, вырезанный на поверхности отклика, формирует область на плоскости состава (проецируется на плоскость состава), а область (гиперобласть) раскладывается на интервалы на соответствующих осях концентраций каждого компонента. Интервал превращается в допустимый, когда несколько областей сравниваются между собой, и выбирается та, которая в наибольшей степени удовлетворяет условиям задачи. Условия задачи, в свою очередь, помогают сформулировать критерии.

При формировании (описании) критериев будем рассматривать всю задачу относительно свойства или в направлении свойства, где внутри этой задачи, по ходу решения, возникают дополнительные условия, в которых появляется необходимость жертвовать составом ради свойств или свойствами ради состава. Это происходит потому, что и состав, и свойство задаются с помощью интервалов. Создание допустимых интервалов содержания компонентов состава приводит к возникновению интервала свойств(а), и наоборот, назначая интервал свойства, получаем интервал содержания каждого компонента состава, а вследствие взаимосвязи между составом и свойствами возникает область (гиперобласть), которая изменяется вместе с ними.

Критерии формируются при рассмотрении системы «состав – структура – свойство». В целях простоты и наглядности воспользуемся упрощённой системой «состав – свойство», хотя раздел

«структура» (строение) играет важную роль в получении требуемого свойства и его уровня. Свойство же выступает как конечная составляющая и является следствием всех предыдущих задач. Являясь конечной целью, свойство(а) выступает как критерий оценки и сравнения физико-химических систем между собой. Собственно допустимые интервалы и необходимы как гарантия того, что получили требуемый (заданный) уровень свойств(а). В задаче о веществе, помимо обеспечения заданного уровня свойства, существуют и другие приоритетные направления его разработки: состав, структура, процессы, для которых необходимо разрабатывать иные критерии формирования допустимых интервалов содержания компонентов.

Первая группа критериев – «критерии состава относительно свойства» – получается исходя из того, что ради получения (сохранения) определенного уровня свойства жертвуем составом:

1.1 Количество полученных составов полностью соответствует требуемому (заданному) уровню свойств(а).

1.2 Количество «неудовлетворительных» составов по требуемому уровню свойств(а) не должно превышать определённой доли от удовлетворительных (доля устанавливается на уровне стандарта или по согласованию с заказчиком при разработке сплава);

1.3 Количество «неудовлетворительных» составов по требуемому уровню свойств(а) не должно превышать определённой доли от удовлетворительных, т.е. от самих себя.

Вторая группа критериев – «критерии свойства относительно свойства» – получается исходя из того, что ради получения определенного состава жертвуем свойством (изменяем заданный уровень свойства или вводим отклонение, задаём погрешность):

2.1 Среди удовлетворительных составов по какому-либо свойству и его уровню количество «неудовлетворительных» составов по тому же свойству и его уровню не должно превышать определённой доли, т.е. доли от количества удовлетворительных составов.

2.2 Среди «неудовлетворительных» составов по какому-либо свойству и его уровню их количество не должно превышать определённой доли, т.е. доли от количества «неудовлетворительных» составов (от самих себя);

Третья группа критериев – «дополнительные критерии»: это дополнительные условия (требования), которые накладываются на вышеперечисленные критерии при формировании допустимых интервалов, а иногда уже при формировании уровня базового состава по тому или иному компоненту:

3.1 Экономический – ограничение базового состава по каждому компоненту в ту или иную сторону по осям концентрации в случае, если допустимый интервал имеет очень большую область определения компонента, а по экономическим причинам его концентрацию нужно ограничить.

3.2 Расчетный – например, из-за очень высокого угара компонента, необходимость вести расчет шихты по верхней границе допустимого интервала.

3.3 Технологический – искусственное расширение допустимого интервала, без ущерба для других аспектов, с целью облегчения процесса получения расплава требуемого химического состава, т.е. с целью минимизации процесса корректировки химического состава в ходе плавки и др.

Третья группа критериев в равной степени может применяться к двум другим группам.

Главное различие между первой и второй группами критериев заключается в том, с какой стороны смотреть на систему «интервал содержания компонента – область – отклик». Пересечение интервалов образует область (гиперобласть), которая отражается на поверхности отклика – это первая группа критериев. Направленные действия второй группы критериев идет от сечения поверхности отклика, которое формирует область (гиперобласть), которая раскладывается на интервалы. То есть свойством можно управлять прямым способом – непосредственно работать со свойством (вторая группа критериев) и косвенным способом – влиять на свойство через состав (первая группа критериев).

Графическая интерпретация демонстрируется на рис.1, где для нахождения допустимых интервалов содержания компонентов А и В необходимо изменять рамку относительно фигуры, либо фигуру относительно рамки.

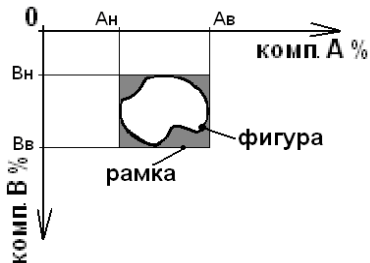


Рис. 1. Графическая интерпретация различий между первой и второй группами критериев

Рамка – это геометрический объект, имеющий форму правильного четырёхугольника: в плоскости (для двух компонентов в декартовой системе координат и для трёх в барицентрической) – прямоугольник (редко – квадрат); в объёме (для трёх компонентов в декартовой системе координат и для четырёх в барицентрической) – параллелепипед (редко куб) и т.д. Размер рамки соответствует предварительно сформированным диапазонам изменения содержания компонентов на начальном этапе решения задачи. Именно эти диапазоны подлежат уточнению и оптимизации для определения допустимых интервалов содержания компонентов в литейных физико-химических системах.

Фигура (геометрический объект любой другой формы, кроме правильных четырёхугольников) – это проекция сечения поверхности отклика на плоскость состава. При таком представлении появляются затенённые области (см. рис.1), которые не соответствуют двум условиям одновременно.

Поэтому для формирования допустимых интервалов необходимо идеальную форму (рамку) сравнивать с реальной формой (фигурой), откуда и появляются удовлетворительные и неудовлетворительные составы.

Пояснить критерии можно с помощью другого примера. Пусть имеем некоторую область составов I (рис. 2, а), которую мы предварительно выбрали сами, состоящую из трёх компонентов: А, В и С. Так как система координат барицентрическая, то компонент С получается вычитанием А и В из 100%, что действительно и для интервалов. В этой области компонент А изменяется в интервале $[A_n; A_B]$, а компонент В – в интервале $[B_n; B_B]$. Пусть имеем внутри области I, например, n различных физико-химических систем, которые можно составить, если каждый компонент изменять с некоторым шагом δ , взятым внутри указанных интервалов. Пусть также имеем математическую модель в виде уравнения $Z = f(x_i)$, которое показывает зависимость между составом и свойством Z для области I. Поставив условие, что нам необходимы все варианты физико-химических систем, у которых свойство Z равно и больше некоторого значения Z1, получаем область II (рис.2, б). Также определили, что область II состоит из множества составов, равных n-k различным вариантам физико-химических систем, если каждый компонент изменять с таким же шагом δ . В области II находятся варианты составов, которые удовлетворяют двум условиям: предварительно выбранному химическому составу и заданному (требуемому) уровню свойства.

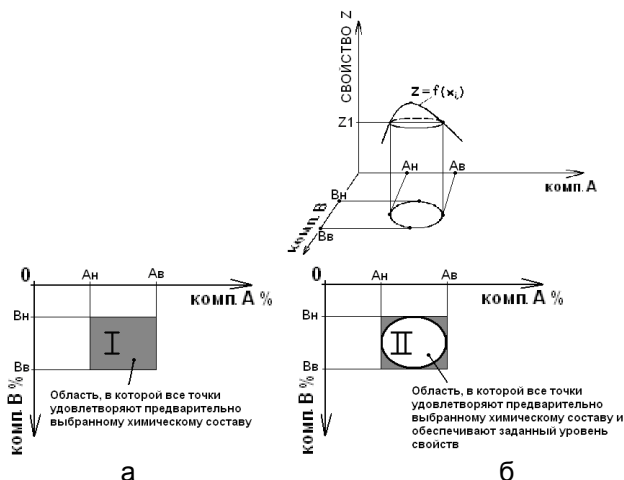


Рис. 2. Графическая интерпретация разных групп критериев

Но осталось еще k вариантов, которые удовлетворяют химическому составу, но не удовлетворяют требуемому свойству, что составляет определенный процент от $n-k$ вариантов, которые удовлетворяют двум условиям. Варьируя интервалами компонентов или создавая новую область, не изменяя при этом уровень свойства, получаем критерий 1.2 (доля от удовлетворительных составов). Если взять долю от k вариантов и при таких условиях создать новую область, соответственно с новыми интервалами, то получим критерий 1.3 (доля от неудовлетворительных составов). Критерий 1.1 является самым простым и самым жестким. Если доля неудовлетворительных составов равна нулю либо по критерию 1.2, либо по критерию 1.3, то получаем критерий 1.1. Критерии второй группы получаются, когда начинаем изменять уровень свойства, т.е. создавать интервал для свойства, при этом сформируется новая область, которая раскладывается на новые интервалы, образующие множество вариантов составов, составляющих область. Сравнивая между собой области или непосредственно интервалы, формируем допустимые интервалы с необходимой математической точностью.

Интервалы содержания компонентов, входящих в состав, образуют область или, наоборот, область (гиперобласть) можно разложить на интервалы, используя координатные оси и шкалы на них. Интервалы являются непрерывными. Непрерывность можно

представить бесконечно большим количеством дискретных вариантов, которые являются частными случаями этой непрерывности. Конечное количество таких частных случаев (количество физико-химических систем) зависит от того, с каким шагом варьировать содержание компонента в пределах этого интервала. Шаг изменения (варьирования) компонента зависит от множества условий: количества компонента в системе; степени его влияния на свойства; точности приборов по определению химического состава; точности, с которой необходимо решить задачу; этапа, на котором находится эксперимент (на начальном для предварительной оценки можно выбрать шаг крупнее, при детальном изучении – перейти на более мелкий) [3].

Существуют задачи получения веществ точного химического состава, где свойство жестко не связано с составом. Их решение рассматривается относительно состава или в направлении состава: приготовление лигатур, ферросплавов и т.д. Потому начальные условия такой задачи будут несколько иные, следовательно, будут иными и критерии.

Методика расчета допустимых интервалов была применена при исследовании составов антифрикционной бронзы [3]; осуществлена также адаптация предложенного алгоритма для расчета допустимых интервалов содержания компонентов формовочных смесей.

Таким образом, решая разные задачи на разных уровнях и применяя разные критерии и их комбинации, становится возможным проводить любые действия с любым компонентом в любом направлении, и, следовательно, с системой в целом. Возможно также создавать асимметричные интервалы и вести работу не по всем компонентам, распределяя степень их влияния неравномерно, а только по некоторым и в определенном направлении. Формирование допустимых интервалов является одной из последних ступеней перед промышленным освоением и внедрением нового материала, облегчающей технологический процесс, снижающей риск получения брака и гарантирующей сохранение требуемого (заданного) уровня свойств.

Библиографический список

1. Гуляев Б.Б. Физико-химические основы синтеза сплавов. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1980. 192 с.

2. Солнцев Ю.П., Борзенко Е.И., Вологжанина С.А. Материаловедение. Применение и выбор материалов: учеб. пособие. СПб.: Химиздат, 2007. 200 с.: ил.
3. Иоффе М.А., Баранцев А.С., Близников М.А. Формирование допустимых интервалов содержания компонентов в литейных сплавах // Литейщик России. 2010. № 2. С. 14 – 19.

УДК 621.74

А.А. Ганеев, Е.Ф. Шайхутдинова

Уфимский государственный авиационный
технический университет, Башкортостан

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ РАЗРАБОТАННОГО НИКЕЛЕВОГО СТОМАТОЛОГИЧЕСКОГО СПЛАВА

В последние годы широкое распространение в стоматологии получили никелевые сплавы. Однако расширение номенклатуры и усложнение протезов предъявляет все более жесткие требования к никелевым стоматологическим сплавам (СС). Поэтому возникла необходимость в разработке нового никелевого СС, отвечающего требованиям данной отрасли.

Разработанный с помощью методов математического моделирования, сплав «Нейростом» исследовался на физико-механические, коррозионные и литейные показатели. Свойства разработанного сплава сравнивались с аналогичными характеристиками серийного СС «Медар-сервис».

Для изготовления заготовок сплава «Нейростом» применялись стандартные шихтовые материалы, используемые при производстве никельсодержащих сплавов. Выплавка заготовок производили в вакуумной индукционной печи УППФ–3М с электрокорундовым тиглем. Химический состав разработанного и серийного сплава приведен в табл. 1.

Для возможности сравнения свойств сплава «Нейростом» со свойствами серийного сплава «Медар–сервис» были изготовлены методом литья по выплавляемым моделям образцы для испытаний на следующие физико-механические свойства:

- предел текучести с остаточной деформацией 0,2%;
- предел временного сопротивления;
- относительное удлинение;
- твердость по Виккерсу;
- коэффициент термического растяжения;
- коррозионная стойкость.

Таблица 1

Химический состав разработанного и серийного никелевых СС
(никель – основа)

Сплав	Содержание ЛЭ, вес.														
	Cr	Mo	W	C	Al	Ta	Nb	B	Cu	Ce	Fe	Si	Mn	S	P
«Нейростом»	24,09-26,34	3,84-4,20	1,465-1,524	0,107-0,119	0,048-0,051	0,699-0,719	0	0,019-0,021	<0,01	0,448-0,496	0,048-0,052	0,142-0,147	1,071-1,172	<0,0052	<0,0053
«Медар-сервис»	23,54-25,63	8,53-10,04	0	0,011-0,025	0	0	0,962-1,618	0,007-0,020	<0,028	0,015-0,019	0,116-0,336	0,941-1,557	0,319-0,732	<0,0093	<0,0095

Испытания на статическое растяжение (разрыв) проводились по ГОСТ 1497-84 на испытательной машине Zwick-Roell Z100 при комнатной температуре. Разброс свойств по пределу прочности для сплава «Нейростом» составляет 716–738 МПа, по пределу текучести – 602–618 МПа и по относительному удлинению – 19–26% (против соответственно 610–630 МПа, 395–420 МПа и 30–41% для сплава «Медар–сервис»).

Испытания на твердость по Виккерсу проводились по ГОСТ 2999–75 на твердомере ТП при комнатной температуре. Разброс свойств по твердости для сплава «Нейростом» составляет 351–360 HV против соответственно 281–290 HV для сплава «Медар–сервис».

Испытания на КТР проводились по ГОСТ 14080–78 с применением дилатометра марки Linseis L76 в интервале температур от 20 до 600°C. Разброс свойств по КТР для сплава «Нейростом» составляет $13,21\text{--}13,40 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ против соответственно $13,51\text{--}13,60 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ для сплава «Медар–сервис».

Испытания на коррозионную стойкость проводились по ГОСТ Р 51767-2001 с помощью фотоколориметра Hanna C-200. Разброс свойств для сплава «Нейростом» по потере массы никеля составляет $1,26\text{--}1,28 \text{ мг/см}^2$, по потере массы хрома – $0,13\text{--}0,16 \text{ мг/см}^2$, по потере массы молибдена – $0,09\text{--}0,12 \text{ мг/см}^2$ и по суммарной потере массы – $1,48\text{--}1,57 \text{ мг/см}^2$ против свойств для сплава «Медар-сервис» соответственно $2,36\text{--}2,76 \text{ мг/см}^2$, $0,16\text{--}0,23 \text{ мг/см}^2$, $0,12\text{--}0,16 \text{ мг/см}^2$ и $2,64\text{--}3,15 \text{ мг/см}^2$.

Определение критических температур сплавов «Нейростом» и «Медар-сервис» проводили по кривым охлаждения расплавленного металла в тигле плавильной печи. Результаты измерений приведены в табл. 2. Видно, что сплаву «Нейростом» соответствуют более низкие значения температур ликвидус и солидус, а также меньшая ширина интервала кристаллизации, чем у сплава «Медар-сервис».

Сравнительное исследование литейных свойств сплавов «Нейростом» и «Медар-сервис» проводили на оболочковых формах-пробах, аналогичных по конфигурации малой комплексной пробе для испытания цветных металлов (проба Купцова-Нехендзи). Проба позволяет одновременно определить жидкотекучесть, степень поражения трещинами, объем усадочных пороков. Оболочковые формы пробы изготавливали по выплавляемым моделям.

Таблица 2

Параметры кристаллизации разработанного и серийного никелевых СС

Сплав	Критические температуры, °С		Интервал кристаллизации, °С
	T_L	T_S	
«Нейростом»	1334	1298	36
«Медар-сервис»	1351	1303	48

Плавку и заливку оболочковых форм образцов проводили в вакуумной печи УППФ-3М при остаточном давлении 10 Па ($7,5 \cdot 10^2$ мм рт. ст.).

После остывания каналы пробы вскрывали и определяли жидкотекучесть, степень поражения трещинами, объемы усадочных пороков.

Условно-истинную жидкотекучесть сплавов определяли по длине заполнения U-образного канала по шкале, нанесенной на стенках полуформ, по плоскости разъема. Объем данного канала составляет только 15% от объема конусной части пробы, поэтому сохраняется постоянство металлостатического напора при заполнении пробы при условии полного прекращения заливки. Условно-истинная жидкотекучесть λ для сплава «Нейростом» составляет 376 мм против жидкотекучести для сплава «Медар-сервис» соответственно 369 мм.

В комплексной пробе имелись 4 участка различной длины, где наблюдалось торможение усадки залитого сплава, дающие возможность судить о склонности сплава к образованию трещин.

Проведенные исследования показывают, что все сплавы имеют на пробе трещины. Ширину трещин замеряли штангенциркулем по осевой линии канала между соответствующими точками бывшего соединения.

Сумма длин трещин сплава для сплава «Нейростом» составляет 2,66 мм против данного показателя для сплава «Медар-сервис» – 3,11 мм.

Определение усадочных пороков производили на конусном образце сплава, получаемом в воронке пробы. Суммарный объем усадочных пороков для сплава «Нейростом» составляет 4,34% против данного показателя для сплава «Медар-сервис» – 4,37%.

Сравнительное исследование жидкотекучести также проводили на специализированной пробе согласно ГОСТ Р 51767-2001. Количественной мерой жидкотекучести по ГОСТ Р 51767-2001 служит высота 2 мм (рис. 1). Данный показатель измерялся посредством оптической измерительной системы ATOS II XL с помощью программного комплекса Geomagig Qualify. Таким образом, наибольшей жидкотекучестью обладали те сплавы, которые наиболее точно воспроизводили вышеупомянутый размер - параметр h . Точность измерения параметра h составила 0,001 мм.

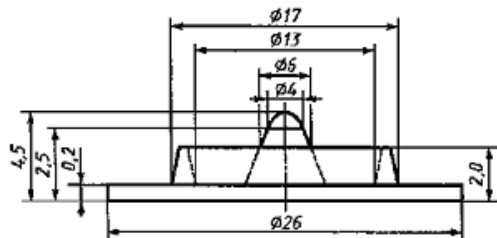


Рис. 1. Эталон отливки для определения жидкотекучести

Отливка образца на определение жидкотекучести для литейных никелевых СС представлена на рис. 2.

Жидкотекучесть сплава «Нейростом» по параметру $h_{\text{сплава}}$ составляет 1,952 мм против жидкотекучести сплава «Медар-сервис» соответственно 1,912 мм.

Сравнительное исследование литейной усадки проводили согласно ГОСТ Р 51767-2001. Относительная величина литейной

усадки для сплава «Нейростом» составляет 2,13% против соответственно 2,17% для сплава «Медар-сервис».

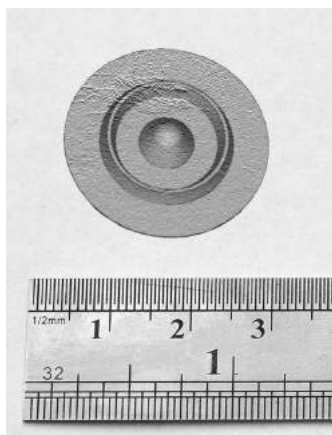


Рис. 2. Отливка пробы на определение жидкотекучести для литейных никелевых стоматологических сплавов

Для исследования структуры сплавов «Нейростом» и «Медар-сервис» были изготовлены микрошлифы, выполненные в поперечном сечении образцов.

Исследование микроструктуры показали, что сплав «Нейростом» имеет более равномерную и упорядоченную структуру по сравнению с серийным сплавом «Медар-сервис». В структуре разработанного сплава отсутствуют заметные выделения карбидных фаз, способных стать концентраторами напряжений (рис. 3), что делает сплав «Нейростом» более пластичным и менее склонным к преждевременному разрушению.

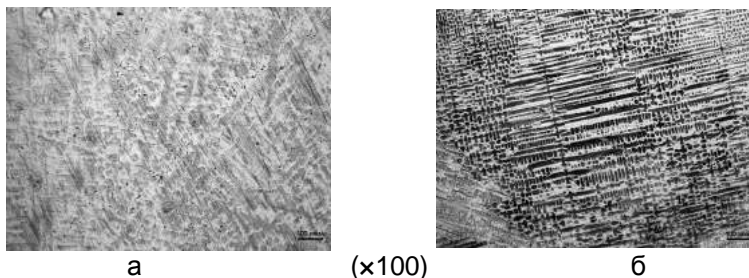


Рис. 3. Микроструктура сплавов «Нейростом» (а) и «Медар-сервис» (б)

В микроструктуре сплава «Нейростом» крупных избыточных фаз не наблюдается, а сплав «Медар-сервис» имеет ярко выраженное дендритное строение с типичным для такой структуры неоднородным распределением легирующих элементов.

Сопоставление литейных никелевых СС «Нейростом» и «Медар-сервис» показывает, что разработанный литейный никелевый СС обладает более оптимальным набором свойств. «Нейростом» имеет высокие прочностные характеристики в сочетании с достаточной пластичностью, что достигается путем введения в сплав вольфрама, тантала, алюминия и исключением ниобия.

Вольфрам входит в состав γ -твердого раствора и γ' -фазы и повышает прочностные характеристики, а в случае отсутствия Nb повышает и пластические свойства литейных никелевых СС.

Тантал и алюминий являются γ' -образующими элементами и стабилизируют выделение упрочняющей γ' -фазы, что повышает прочностные свойства разработанного литейного никелевого СС.

Снижение содержания молибдена и кремния гарантирует повышение пластичности «Нейростом».

Анализ результатов испытаний образцов сплавов «Нейростом» и «Медар-сервис» на КТР в интервале температур 20-600°C показал, что разработанный сплав обладает несколько меньшим КТР, что обеспечивается снижением концентрации Mo.

Помимо этого, для оптимального значения КТР в разработанном сплаве повышено содержание углерода.

В отличие от «Медар-сервис», «Нейростом» имеет более высокую концентрацию церия, что помогает наиболее эффективно устранить вредное влияние серы и позволяет повысить прочностные свойства сплава.

Разброс свойств по потере массы сплава «Нейростом» ниже в 2 раза, чем у сплава «Медар-сервис», что свидетельствует о высокой коррозионной стойкости разработанного сплава. Повышение коррозионной стойкости сплава «Нейростом» достигается путем небольшого повышения концентрации хрома, а также марганца и церия, которые, помимо устранения вредного влияния серы, повышают адгезию защитных окисных пленок Al_2O_3 и Cr_2O_3 .

Введение бора и снижение содержания кремния также повышает коррозионную стойкость сплава «Нейростом». Это позволяет снизить термодинамическую активность углерода и улучшить морфологию карбидов, которые снижают стабильность γ -твердого раствора и инициируют образование карбидов типа $Me_{23}C_6$ на границах зерен.

Исследование литейных свойств сплава «Нейростом» и «Медар-сервис» показало, что разработанный сплав обладает более узким интервалом кристаллизации, высокой жидкотекучестью как по комплексной пробе, так и по специализированной и низкой литейной усадке.

Повышение жидкотекучести и снижение литейной усадки разработанного сплава достигается путем введения в сплав тантала, который, помимо этого, сужает интервал кристаллизации, улучшает смачиваемость формы. Увеличение содержания церия, который гарантирует повышение литейных свойств сплава, а также снижение концентрации кремния, позволяет несколько уменьшить литейную усадку. Вольфрам снижает температуру солидуса, тем самым сужает интервал кристаллизации. Это приводит к уменьшению разветвленности дендритов, понижает температуру нулевой жидкотекучести и улучшает жидкотекучесть.

Сплав «Нейростом» обладает большей трещиностойкостью, чем сплав «Медар-сервис». Это можно объяснить тем, что сплав «Нейростом» имеет большую пластичность и меньшую величину литейной усадки, чем сплав «Медар-сервис».

Понижение склонности к образованию усадочных пороков сплава «Нейростом» можно объяснить уменьшением разветвленности дендритов, что способствует улучшению питания микрообъемов отливок и уменьшает склонность к усадочной пористости.

Исследования микроструктуры показали, что при одинаковых параметрах технологического процесса литья сплав «Нейростом» имеет более совершенное дендритное строение, чем серийный сплав «Медар-сервис», что способствует повышению пластичности и снижению склонности к преждевременному разрушению. Это можно объяснить введением в сплав «Нейростом» элементов, повышающих стабильность γ -твердого раствора и устраняющих вредное влияние примесей, а также меньшей шириной интервала кристаллизации.

Сплав «Нейростом», при плавке как в промышленных, так и в стоматологических печах, показал себя технологичнее серийного «Медар-сервис». С футеровкой и формой из электрокорунда и из стоматологической паковочной массы взаимодействия сплава «Нейростом» не наблюдается.

Исходя из данных по температуре плавления сплава «Нейростом», его рекомендуемая температура заливки должна составлять 1410–1440°C. Наблюдения показали, при данной температуре разработанный сплав оптимально заполняет все полости формы.

Таким образом, исследования, проведенные в лабораторных условиях, позволяют дать следующие рекомендации:

1. Здоровые отливки образцов из сплава «Нейростом» могут быть получены без заметных дефектов методом литья по выплавляемым моделям.

2. Для получения бездефектных литых образцов с установленными при исследовании свойствами могут быть рекомендованы температуры заливки сплава 1410–1440°C.

На основании результатов исследования можно рекомендовать СС «Нейростом» к серийному производству для изготовления неснимаемых зубных протезов. На состав сплава «Нейростом» получен патент РФ №2284363.

УДК 621.74

И.В. Марширов, Г.А. Мустафин, В.Г. Москалев

Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЖЕЛЕЗО-НИКЕЛЬ-МАГНИЙ-ЦЕРИЕВОЙ ЛИГАТУРЫ

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом (ЧШГ), характеризующийся сочетанием высоких технологических, физико-механических и эксплуатационных характеристик, широко применяется взамен стального литья, ковкого и серого чугунов, обеспечивая надежность и долговечность изделий в различных режимах эксплуатации. Отличительные особенности ЧШГ в сравнении со сталью – более высокое отношение предела текучести к пределу прочности при растяжении, достаточно высокий модуль упругости, низкая чувствительность к концентраторам напряжений, повышенная циклическая вязкость – позволяют считать этот конструкционный материал весьма перспективным.

Основными факторами регулирования литой структуры и уровня физико-механических и эксплуатационных характеристик

высокопрочного чугуна являются: качество исходного расплава, режимы модифицирования, химический состав и скорость затвердевания металла в отливках.

В отличие от чугуна с пластинчатым графитом, механические свойства чугуна с шаровидным графитом в большей степени определяются металлической основой и в меньшей – количеством, размерами и распределением графитовых включений. Поэтому ряд режимов термической обработки, используемых для повышения механических свойств стали, оказывается эффективным также и для высокопрочного чугуна.

Литейные свойства чугунов с шаровидным графитом отличаются от соответствующих параметров с пластинчатым графитом. Как правило, жидкотекучесть ВЧШГ составляет 70-80% жидкотекучести ЧПГ, а усадка (как объемная, так и линейная) больше, чем у чугунов с пластинчатым графитом, на 30-50%.

Жидкотекучесть и усадка чугунов с шаровидным графитом зависят от многих факторов и, в первую очередь, от химического состава, температуры перегрева и способа сфероидизирующей обработки.

Целью данной работы являлась разработка технологического процесса получения чугуна с шаровидным графитом с использованием железо-никель-магний-цериевой лигатуры.

При проведении работы выплавку исходного расплава чугуна проводили в индукционной тигельной печи с емкостью тигля 120 кг с кислой футеровкой.

В качестве шихтовых материалов использовали: передельный чугун, ферросилиций марки ФС75, возврат собственного производства, отходы углеродистой стали. Сфероидизирующее модифицирование проводили в разливочном ковше лигатурой ЖНМгЦ.

Измерение температуры в тигле печи и разливочном ковше осуществляли с помощью термодпары погружения (преобразователь термоэлектрический ТПП-91-80) и электронного регистратора температуры «Параграф».

Температура перегрева расплава перед выпуском в разливочный ковш составляла 1430-1480°С.

Экспресс-контроль исходного и модифицированного чугуна осуществляли по виду излома технологической пробы, заливаемой соответственно из печи после расплавления шихты и из разливочного ковша после обработки расплава модифицирующей рафинирующей смесью.

На основе проведенного анализа по влиянию химического состава (C, Si, Mn) на структуру и свойства чугуна с шаровидным графитом рекомендован следующий состав чугуна перед модифицированием: углерод – 3,3-3,6%; кремний – 2,3-2,7%; марганец – 0,3-0,5%; содержание фосфора и серы – менее соответственно 0,1 и 0,02%.

При этом для получения шаровидной формы графита остаточное содержание магния в чугуне должно быть в пределах 0,03-0,07. Учитывая, что коэффициент усвоения магния при использовании вышеуказанной лигатуры неизвестен, на начальном этапе исследований количество магнийсодержащей лигатуры варьировалось в пределах (0,6-1,0%) от массы заливаемого в ковш расплава чугуна. При этом также на дно ковша совместно с лигатурой помещали ФС75 в качестве графитизирующего модификатора и фтористый кальций – как рафинирующую добавку.

Анализ данных по опытным плавкам показывает, что при обработке расплава чугуна сфероидизирующим модификатором в количестве 0,8% в структуре чугуна содержится лишь 20% шаровидного графита, а 80% – вермикулярного графита. Увеличение количества вводимой в расплав лигатуры ЖНМгЦ до 1,0% позволяет стабильно обеспечивать 100% шаровидной формы графита.

В литом состоянии структура металлургической основы, определяемая в соответствии ГОСТ 3443-87, на образцах после механических испытаний состояла из 80% феррита и 20% перлита, после термической обработки (нормализации) – из 95% перлита и 5% феррита.

При этом полученный высокопрочный чугун с шаровидным графитом имел следующие показатели механических свойств: в литом состоянии – предел прочности $\sigma_B = 585$ МПа, условный предел текучести $\sigma_{02} = 420$ МПа, относительное удлинение $\delta = 7,0\%$, твердость по Бринеллю = 2070 МПа; после термической обработки – $\sigma_B = 865$ МПа, $\sigma_{02} = 670$ МПа, $\delta = 3,4\%$, HB = 2850 МПа.

Таким образом, использование в качестве сфероидизирующего модификатора железо-никель-магний-цериевой лигатуры позволяет обеспечить в соответствии с требованиями ГОСТ 7293-85 получение в литом состоянии высокопрочного чугуна с шаровидным графитом марки ВЧ 50, а после термической обработки – ВЧ 80.

При разработке технологического процесса производства отливок из чугуна с шаровидным графитом большое внимание уделяется проектированию литниково-питающих систем (ЛПС). Пита-

ние отливок из ЧШГ в форме производится с учетом объемных изменений, имеющих место при кристаллизации чугуна. Характерной особенностью чугунов по сравнению со сталью является тот факт, что процесс затвердевания в форме сопровождается увеличением объема, и для ЧШГ эта величина в 3-4 раза больше, чем для ЧПГ. Для стали присуща послойная кристаллизация, ЧШГ склонен к объемной кристаллизации, ЧПГ имеет комбинированный тип кристаллизации.

В связи с этим расчет элементов литниковой системы, определение места подвода металла к отливке, определение количества и размеров прибылей для отливок из чугуна с шаровидным графитом имеют специфические особенности.

Данные особенности литейных свойств ЧШГ были учтены при разработке технологических процессов изготовления ряда отливок сельхозмашиностроения.

При проведении работы, наряду с применением известных методик расчета литниково-питающих систем, для прогнозирования качества достаточно сложных по конфигурации отливок была использована система компьютерного моделирования «Полигон».

УДК 669.187.2.046.542

А.Ф. Миляев, А.Е. Степанова, Д.В. Лисичкин

Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова

А.В. Авдиенко, Д.М. Иванов

ЗАО «МРК»

РАЦИОНАЛЬНОЕ СОДЕРЖАНИЕ УГЛЕРОДА В МЕТАЛЛЕ ПО РАСПЛАВЛЕНИИ В ДСП-25

Для получения качественного металла необходимо правильно провести окислительный период плавки, во время которого удаляется определенное количество углерода с целью проведения углеродистого кипения определенной продолжительности, обеспечивающего перемешивание ванны с дегазацией и усреднением химического состава и температуры.

Избыточное содержание углерода по расплавлению определяется разностью между углеродом по расплавлению и углеродом перед раскислением ($\Delta C_{\text{дов}} = C_{\text{распл}} - C_{\text{пр}}$). В процессе работы анализировались только плавки с содержанием углерода в готовой стали до 0,35 %. Весь анализируемый массив состоит из 120 плавов и разбит на 4 диапазона по количеству избыточного содержания углерода по расплавлению.

Металлозавалка плавов состоит из брикетов, обрезки проката, собственных отходов и стального лома и влияет на избыточное содержание углерода по расплавлению, что представлено в табл. 1.

Таблица 1

Изменение металлозавалки при разном избыточном
содержании углерода по расплавлению

$\Delta C_{\text{дов}}$, %	<0,45	0,45-0,69	0,7-0,95	> 0,95
Количество случаев	56	34	15	15
Брикеты, %	15,01	10,47	6,13	3,49
Обрезь проката, %	17,55	15,85	5,27	9,95
Собственные отходы, %	16,40	20,48	22,86	26,05
Стальной лом, %	51,05	53,20	65,74	60,51
УСМ, %	1,26	1,46	1,40	1,28
Общая металлозавалка, кг	26047	25153	25480	23154

Из табл. 1 видно, что увеличение содержания в завалке обрезки проката и брикетов снижает содержание избыточного углерода по расплавлению, в то время как увеличение собственных отходов и стального лома в завалку увеличивают данный показатель.

Было проанализировано влияние избыточного содержания углерода по расплавлению на длительность периодов плавки (табл. 2)

Таблица 2

Влияние избыточного содержания углерода по расплавлению
на длительность периодов плавки

$\Delta C_{\text{дов}}$, %	Количество случаев	Длительность периодов плавки, ч			
		Завалка	Плавление	Доводка	Плавка
<0,45	56	1,33	2,67	2,48	6,48
0,45-0,69	34	1,28	2,60	2,59	6,48
0,7-0,95	15	1,62	2,63	2,61	6,85
> 0,95	15	1,39	2,32	2,71	6,52

Из табл. 2 можно увидеть, что наименьшая длительность плавления достигается при $\Delta C_{\text{дов}} > 0,95$ %, что и неудивительно, так как при увеличении содержания углерода снижается и температура плавления металла. Однако при данном содержании избыточного углерода имеется самая длительная доводка из-за необходимости окислить большее количество углерода для получения стали определенного химического состава. Из таблицы также видно, что наиболее оптимальные длительности периодов имеем при $\Delta C_{\text{дов}} = 0,45-0,69$ %.

При $\Delta C_{\text{дов}} = 0,45-0,69$ % отмечается пониженное содержание серы и фосфора (табл. 3)

Таблица 3

Изменение химического состава по расплавлению в зависимости от избыточного содержания углерода

$\Delta C_{\text{дов}}$, %	Количество случаев	Mn, %	S, %	P, %
<0,45	56	0,16	0,021	0,013
0,45-0,69	34	0,19	0,021	0,015
0,7-0,95	15	0,24	0,026	0,017
> 0,95	15	0,29	0,026	0,020

Также избыточное содержание углерода по расплавлению определяет состав шлака по расплавлению (табл. 4).

Из табл. 4 видно, что при $\Delta C_{\text{дов}} = 0,45-0,69$ % шлак по расплавлению имеет наибольшую основность, что позволяет более глубоко провести процесс дефосфорации. Также наблюдается несколько меньшее содержание закиси железа, что сказывается на состоянии шлака.

Таблица 4

Влияние избыточного содержания углерода по расплавлению на состав шлака по расплавлению

$\Delta C_{\text{дов}}$, %	Состав шлака по расплавлению, %						
	CaO	SiO ₂	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	OSN
<0,45	30,20	20,80	26,44	9,69	8,52	0,34	1,52
0,45-0,69	35,86	20,51	22,82	9,50	7,38	0,39	1,84
0,7-0,95	33,76	23,61	23,93	9,15	7,57	0,38	1,52
> 0,95	32,16	21,86	22,98	10,13	8,45	0,37	1,65

При избыточном содержании углерода по расплавлению 0,45-0,69% имеем меньший расход ферромарганца и ферросили-

ция (табл. 5). Расход алюминия практически для всех случаев одинаков и составляет чуть больше одного килограмма на тонну жидкого металла.

Таблица 5
Влияние избыточного содержания углерода по расплавлению на расход ферросплавов

ΔСдов, %	Количество случаев	FeMn		FeSi		Al	
		кг	%	кг	%	кг	%
<0,45	56	298	1,14	253	0,98	30	0,12
0,45-0,69	34	249	0,92	207	0,82	29	0,12
0,7-0,95	15	234	0,92	227	0,91	26	0,10
> 0,95	15	233	0,96	189	0,84	27	0,12

Изменение избыточного содержания углерода по расплавлению влияет на механические свойства металла (табл. 6). Особенно четко это отражается на ударной вязкости. С увеличением избыточного содержания углерода по расплавлению ударная вязкость уменьшается, что отрицательно влияет на эксплуатационные свойства готовых изделий.

Также из табл. 6 видно, что при ΔСдов=0,45-0,69% наблюдаются сравнительно большие показатели предела текучести и предела прочности, а также высокий показатель ударной вязкости, что улучшит эксплуатационные свойства готовых изделий.

Таблица 6
Влияние избыточного содержания углерода по расплавлению на механические свойства

ΔСдов, %	Количество случаев	Средние механические свойства					
		σ _т , МПа	σ _в , МПа	б, %	ψ, %	КСУ, Дж/м ²	НВ
<0,45	7	271	496	19	37	97	145
0,45-0,69	11	286	499	22	39	94	143
0,7-0,95	5	282	477	19	31	84	139
> 0,95	4	284	494	23	40	69	153

При существующем составе металлошихты не всегда удается получить необходимое содержание избыточного углерода по расплавлению, поэтому науглероживают расплав за счет ввода в

завалку углеродсодержащих материалов (УСМ), таких как БУКМ и УККС. Влияние данных материалов на углерод по расплавлению представлено на рис. 1.

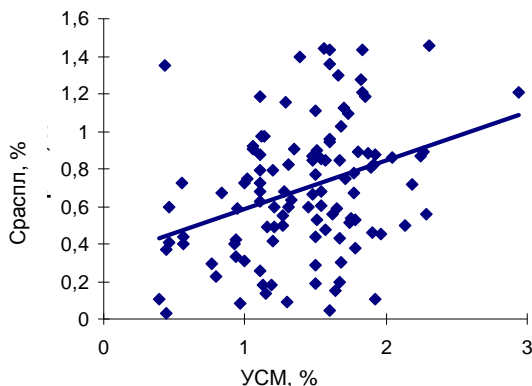


Рис. 1. Влияние расхода углеродсодержащих материалов на содержание углерода по расплавлению

Из рис. 1 видно, что при увеличении расхода УСМ содержание углерода по расплавлению увеличивается. Регрессионное уравнение этой связи $C_{распл} = 0,258УСМ + 0,3306$, $R^2=0,11$. При содержании углерода в УСМ= 60% средняя степень усвоения составляет 43%. Однако недостатком этих материалов является повышенное содержание серы в нем, что ведет к увеличению содержания серы в металле (рис. 2).

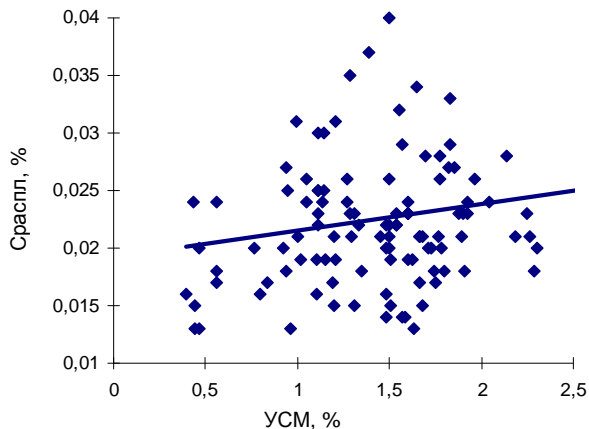


Рис. 2. Влияние углеродсодержащих материалов на содержание серы по расплавлению

Из рис. 2 видно, что при увеличении расхода углеродсодержащих материалов содержание серы в металле увеличивается на 0,0023% на 1% УСМ.

Из всего вышесказанного можно предложить следующие рекомендации. Необходимо иметь избыточное содержание углерода по расплавлению в пределах 0,45-0,69%, что позволит сократить длительность доводки и плавки в целом, а так же сократить расход ферросплавов. Поддержание рекомендуемого избыточного содержания углерода, а также стабильного расхода извести в завалку (не менее 4-5%) позволит получить хороший однородный шлак, с помощью которого можно добиться снижения содержания серы и фосфора в металле по ходу доводки. При $\Delta C_{\text{дов}}=0,45-0,69\%$ наблюдаются лучшие механические свойства, которые важны при работе готового изделия. Для оперативной корректировки содержания углерода предлагается его вдувание с помощью инжекторов в период доводки. Этот процесс хорошо дозируется, позволяет вводить углерод в любой период плавки при незначительной длительности вдувания. Вдувание углерода так же уменьшает количество внесенной серы и фосфора в отличие от УСМ.

УДК 621.762

Е.Н. Шлыгин, А.А. Ганеев

Уфимский государственный авиационный
технический университет, Башкортостан

МЕТОДИКА СИНТЕЗА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА

В связи с истощением используемых в настоящее время нефтегазовых месторождений возникает необходимость в проведении добычи данного сырья на больших глубинах. Это, в свою очередь, предопределяет бурение более твердых горных пород.

Инструмент работает в тяжелых условиях: удельная нагрузка на режущий элемент составляет от 0,8–1,2 кН; окружная скорость – 0,7–1,2 м/с; температура на поверхности режущей кромки достигает 600°C, твердость разрушаемых пород может превышать

80 единиц HRA. Скорость износа деталей возрастает на порядок по сравнению с обычными условиями работы.

Поскольку износ материала в значительной мере зависит от его твердости, прежде всего требуется изучить именно этот фактор. Графическое сравнение значений твердости различных классов материалов представлено на рис. 1. Из анализа видно, что наиболее высокой твердостью обладают композиционные материалы. В большинстве случаев, когда требуется высокая износостойкость, необходимо также принимать во внимание в качестве решающих факторов предел прочности при сжатии и предел прочности при изгибе.

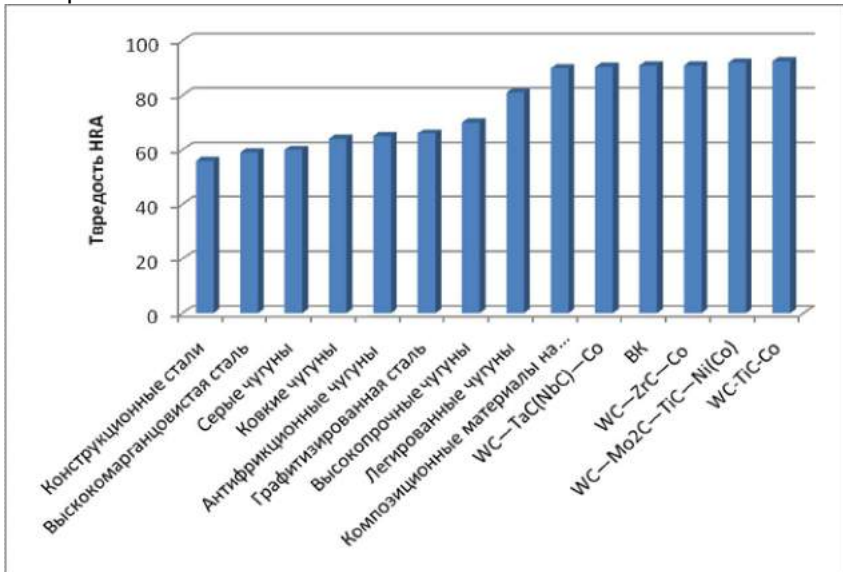


Рис. 1. Графическое сравнение значений твердости различных классов материалов

Таким образом, наиболее перспективными для буровых долот являются композиционные материалы. В настоящее время для бурения применяются композиционные материалы с карбасом из карбида вольфрама и кобальтовой связкой. Но в условиях сверхглубокого бурения их использование невозможно в связи с недостаточной износостойкостью и, как следствие, малым сроком службы инструмента. Поэтому возникает необходимость в создании новых, более износостойких и доступных композиционных материалов для буровых долот.

Существуют три основных направления для улучшения свойств композиционных сплавов:

- изменение технологии их получения;
- легирование либо изменение карбидной основы;
- легирование либо изменение состава связующей фазы.

Наиболее перспективной технологией изготовления композиционных материалов является метод инфильтрации.

Сущность этого метода заключается в следующем: из порошка более тугоплавкого компонента формируют пористый каркас, а затем заполняют его пустоты расплавленным, более легкоплавким компонентом. При этом тугоплавкий компонент выступает в роли армирующей фазы.

Поэтому методика синтеза новых композиционных сплавов должна включать в себя следующие пункты:

1. Определение условий работы буровых долот:
 - а) механические нагрузки;
 - б) состав и свойства промывающей жидкости;
 - в) температурные условия;
2. Определение требования к материалу.
3. Определение взаимодействия фаз в композиционных материалах:
 - а) типы возможных взаимодействий на поверхности раздела компонентов (механическая смесь, связь растворением и смачиванием, связь путем обменных химических реакций либо с образованием продуктов взаимодействия, смешанная связь);
 - б) совместимость фаз (кинематическая, термодинамическая, механическая);
 - в) жидкофазное взаимодействие;
 - г) твердофазное взаимодействие.
4. Определение требований к материалу каркаса:
 - а) физические (форма частиц, размер частиц, удельная поверхность, плотность, микротвердость);
 - б) химические (токсичность, пирофорность и т.д.);
 - в) технологические (насыпная плотность и плотность утряски, текучесть, уплотняемость, смачиваемость жидкими металлами).
5. Определение требований к материалу инфильтранта:
 - а) физические;
 - б) химические;
 - в) технологические.

6. Разработка базы данных:
 - а) логическая структура (иерархическая, сетевая либо реляционная);
 - б) выбор системы управления базой данных (Microsoft Access, Paradox, dBase, FoxPro, Visual FoxPro и т.д.);
 - в) Определение параметров материалов, включаемых в базу данных;
 - г) концептуальная структура базы данных;
 - д) информационно поисковая система с возможностью вывода результатов в виде таблиц, графиков, диаграмм.
7. Определение критериев выбора материала каркаса.
8. Определение критериев выбора материала инфильтранта.
9. Выбор материалов каркаса и инфильтранта.
10. Оптимизация состава композиционного материала.
11. Разработка технологии получения изделий из композиционного материала.

Для выбора твердой и износостойкой основы нового сплава, а также материала инфильтранта, обеспечивающих работу долот в экстремальных условиях, необходимо сравнить свойства тугоплавких соединений. Для этого должна быть разработана база данных (БД) указанных материалов. Концептуальная структура базы данных тугоплавких соединений и материалов инфильтрантов представлена на рис. 2.

Применение базы данных обусловлено необходимостью их выбора по заранее определенному набору критериев. При этом сведения хранятся в систематизированном виде, а процесс отбора необходимых материалов может быть автоматизирован. На основе данной методики синтеза композиционных сплавов разработана структура базы данных материалов каркаса и инфильтранта.

Металлические порошки характеризуются химическими, физическими и технологическими свойствами. Основные характеристики порошков указывают в ГОСТах или технических условиях (ТУ).

Химический состав порошка зависит от метода его производства, а также от степени чистоты исходных материалов. Содержание основного металла или сумма основных компонентов сплава в порошках составляет, как правило, не менее 98–99%. Важными химическими особенностями порошков являются их токсичность и пирофорность (способность порошка к самовозгоранию при соприкосновении с воздухом).

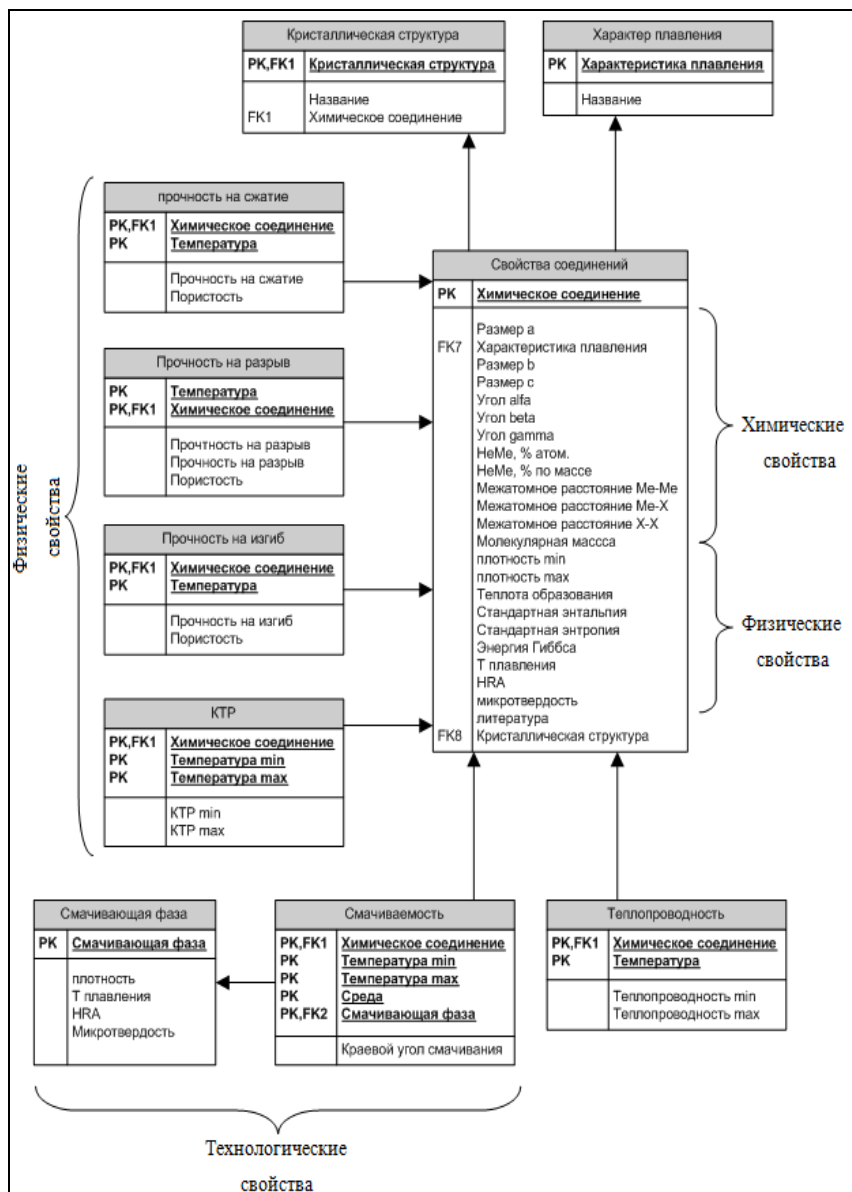


Рис. 2. Концептуальная структура базы данных

К физическим свойствам относятся форма частиц, размер частиц, удельная поверхность, плотность, твердость, предел прочности материала на изгиб и растяжение.

Технологические свойства включают насыпную плотность и плотность утряски, текучесть, уплотняемость, смачиваемость жидкими металлами.

Смачиваемость является очень важным параметром, так как в случае плохой смачиваемости инфильтрант не заполнит поры тугоплавкого каркаса и конечное изделие будет характеризоваться низкой плотностью.

Кроме того, фазы композиционного материала не изолированы друг от друга, напротив, между ними происходит активное взаимодействие, что оказывает существенное влияние на материал в целом.

Выводы:

1. Разработана общая схема и методика синтеза композиционных материалов.

2. Разработана структура базы данных, в которой в систематизированном виде представлены сведения о материалах каркаса и инфильтранта композиционных сплавов.

УДК 621.74.019

А.С. Баранцев, М.А. Иоффе

Северо-западный государственный заочный
технический университет, г. Санкт-Петербург

А.В. Тихомиров

ЦНИИ КМ «Прометей», г. Санкт-Петербург

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОТЛИВОК ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ

Изготовление отливок из титановых сплавов на чистых (первичных) материалах без использования отходов лома, стружки снижает эффективность производства и конкурентоспособность продукции на мировом рынке.

В России принята централизованная поставка полуфабрикатов (электроды) из сплавов титана для производства отливок по ценам, соответствующим уровню мирового рынка. В число литейных отечественных сплавов входят: ВТ1-0, ВТ5, ЭТ2, ЭТ3, ЭТ5, ЭТ7.

Способ производства этих слитков заключается в переплаве пресованных из титановой губки и легирующих добавок электродов в кристаллизаторах вакуумных дуговых печей. При таких условиях изготовление и централизованная поставка электродов из отдаленных регионов страны резко снижают рентабельность. Необходим универсальный, надежный по качеству и эффективности способ получения сплавов любого состава и в любых количествах непосредственно в литейных цехах.

В цехах стального и цветного литья таким способом является индукционная плавка в печах различной емкости (от 5 до 2000 кг). К сожалению, этот способ для плавки титановых сплавов в промышленных масштабах не освоен. Основным препятствием является химическое взаимодействие титанового сплава с материалом тигля. Известен способ вакуумной индукционной плавки титановых сплавов в металлических «холодных» тиглях. Однако энергетически этот способ невыгоден, т.к. сложен, ограничен по массе выплавляемого металла и применения в титаново-литейных цехах, как и способ электронно-лучевой плавки, не нашел. Основное металлургическое оборудование этих цехов представляют вакуумные гарнисажные электродуговые печи с емкостью тиглей от 100 до 3500 кг.

Предварительные опыты показали, что эти печи пригодны не только для переплава стандартных слитков, но и являются достаточно универсальным оборудованием для осуществления металлургических процессов переработки лома и литейных отходов титана в сплавы по определенным технологическим схемам. При этом процесс переплава титана и его сплавов в гарнисажных печах является наиболее выгодным и в целом технологичным.

Использование до 50% литейных отходов титановых сплавов, соответствующих марке выплавляемого металла, которые укладываются на дно тигля вакуумных гарнисажных дуговых печей, позволяет получать отливки или расходные электроды, удовлетворяющие требованиям стандартов как по химическому составу, так и по механическим свойствам. Носителями избыточного кислорода в кусковых отходах являются локальные поверхностные загрязнения оксидом титана и окислительной средой при

газовой резке металла. На определенном этапе процесса эти загрязнения могут выполнять положительную роль.

Была осуществлена статистическая обработка обширного объема опытных плавов для сплава, при выплавке которого использовалось в среднем 20% кусковых отходов, загружаемых на дно тигля после галтовки.

Компактование отходов в расходный электрод производилось в изложницах методом пролива жидким титаном. При этом химический состав сплава по основным элементам и примесям и показатели механических свойств находились в пределах, допустимых нормативной документацией. Это свидетельствует о достаточно высоком качестве компактных кусковых отходов титановых сплавов, используемых в производстве отливок.

Многократное использование титановых отходов при изготовлении расходных электродов и фасонных отливок приводит к постепенному увеличению в сплаве вредных примесей, превышающих допустимые нормы по ГОСТу. Для снижения содержания примесей в сплаве целесообразно вместе с отходами использовать титан губчатый марок ТГ-90, ТГ-100, в том числе в виде брикетов с лигатурой ванадия и алюминия, получаемых прессованием. Получение брикетов прессованием достаточной прочности происходит при содержании 50% губчатого титана. Исходя из этого положения и производят расчет шихты на содержание легирующих элементов с учетом того, что при изготовлении первого расходного электрода методом пролива и последующего расплавления его для усреднения химического состава сплава всегда имеются отклонения по массе металла, а также расходы легирующих элементов на гарниссаж. Поэтому на первые плавки расчет необходимо производить на содержание легирующих по верхнему пределу. По результатам химического анализа первых плавов производят корректировку состава шихты.

На основании проведенных исследований в титановолитейных цехах внедрена технология по введению в сплавы титана от 20 до 45% кусковых отходов литейного и кузнечного производства.

Раздел 2

ПРОЦЕССЫ ПЛАВКИ И ОБРАБОТКИ ЖИДКИХ СПЛАВОВ

УДК 669.017.3:669.018.28

Е.Е. Барышев, А.Г. Тягунов, Г.В. Тягунов, Э.В. Колотухин
Уральский государственный технический университет – УПИ
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА НА ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ И СТРУКТУРУ ЛИТЕЙНОГО ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА

В работе [1] показано, что серийный технологический процесс выплавки некоторых жаропрочных сплавов не обеспечивает получения в отливках регламентированной структуры. Поэтому изучение свойств, структуры жидких жаропрочных сплавов, влияния состояния расплава на процесс кристаллизации и структуру формирующегося литого металла по-прежнему остается актуальной задачей.

В качестве объектов исследования выбран жаропрочный сплав типа ЖС36 с переменной концентрацией углерода. Образцы сплава содержали от 0,002 до 0,14 вес. % С.

Проведенные исследования удельного электросопротивления жаропрочного сплава ЖС36 показали, что после расплавления он находится в неравновесном состоянии. Установлены температуры ($t_{ан}$), нагрев выше которых переводит расплав в равновесное, однородное состояние. Показано, что увеличение в сплаве содержания углерода способствует понижению $t_{ан}$ [2].

Для изучения влияния содержания углерода в сплаве и состояния расплава на процесс кристаллизации и структуру литого металла использовали образцы, нагретые в ходе выплавки до разных температур. Анализ ДТА-кривых позволил уточнить процесс его кристаллизации. Затвердевание сплава начинается с выделения первичных кристаллов легированного твердого раствора на основе никеля (t_L). При последующем охлаждении из пересыщенного по легирующим элементам расплава начинают выделяться

карбиды эвтектического происхождения (t_{MC}). Оставшаяся жидкость кристаллизуется в междендритном пространстве как в виде двойной ($\gamma+\gamma'$), так и сложной эвтектики типа $\gamma+\gamma'+MC$ (t_s). При последующем охлаждении выделившийся никелевый твердый раствор оказывается пересыщенным по легирующим элементам и из него выделяется основная упрочняющая сплав вторичная γ' -фаза (t_{solv}).

Результаты исследований свидетельствуют о том, что величина переохлаждения расплава зависит от максимальной температуры его нагрева и содержания углерода в жаропрочной композиции. Типичная для исследуемых образцов зависимость величины переохлаждения расплава от максимальной температуры его нагрева может быть представлена в виде кривой, изображенной на рис. 1, а. Параметры этой кривой зависят от концентрации углерода в жаропрочном сплаве. С ростом содержания углерода от 0,002 до 0,14%, во-первых, с 1760 до 1670°C снижается температура, после нагрева до которой жидкий металл имеет наибольшее переохлаждение; во-вторых, расширяется с 5 до 40 град температурный интервал максимального переохлаждения, в-третьих, уменьшает абсолютное значение переохлаждения.

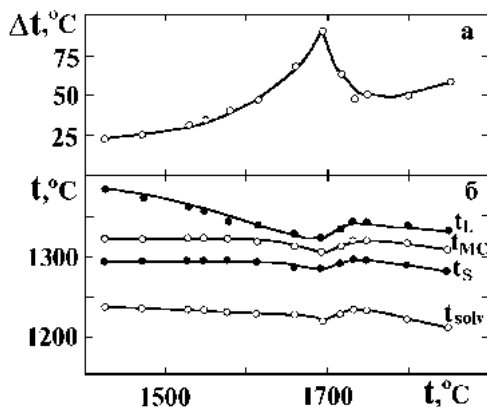


Рис. 1. Влияние максимальной температуры нагрева расплава в ходе плавки на переохлаждение (а) и температуры фазовых превращений (б) при кристаллизации жаропрочного сплава

Другим важным результатом исследований является тот факт, что температура начала кристаллизации изученных сплавов при наибольшем их переохлаждении совпадает с температурой

образования одной из первичных фаз. По-видимому, процесс кристаллизации инициируется микрообразованиями расплава, имеющими строение, сходное с одной из указанных фаз.

Результаты металлографического анализа литых образцов, нагретых в ходе выплавки до разных температур, приведены на рис. 2.

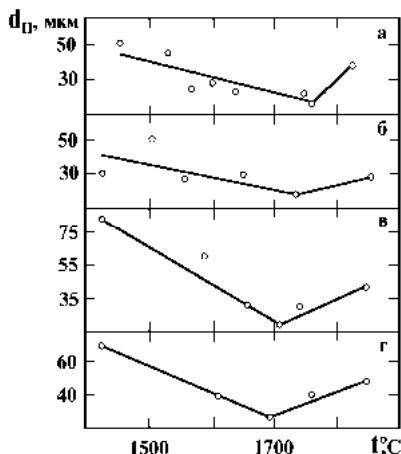


Рис. 2. Влияние температуры нагрева расплава в ходе плавки на дисперсность дендритной структуры жаропрочного сплава с различным содержанием углерода:
а – 0,006 %С; б – 0,03 %С;
в – 0,07 %С; г – 0,14 %С

Зависимости дисперсности литой структуры (d_{II}) от температуры максимального нагрева расплава имеют сложный характер. Как правило, нагрев расплава до некоторой температуры $t_{ан}$ (соответствующей его максимальному переохлаждению при кристаллизации) приводит к уменьшению расстояния между вторичными осями дендритов в литом металле. Аналогичные результаты для сплава ХН62БМКТЮ получены в работе [3]. Дальнейшее повышение температуры нагрева расплава сопровождается ростом d_{II} . Содержание в сплаве углерода практически не оказывает влияния на характер кривых.

Влияние температуры максимального нагрева расплава в ходе опыта на количество эвтектической γ' -фазы представлено на рис.3,а.

Зависимости также имеют экстремальный характер: сначала количество эвтектики ($\gamma + \gamma'$) уменьшается, а при нагреве выше температур, обеспечивающих получение при кристаллизации максимального переохлаждения, возрастает. Увеличение в сплаве содержания углерода до 0,07 мас.% приводит к существенному уменьшению количества эвтектики.

На рис.3,б приведена зависимость среднего размера колоний эвтектической γ' -фазы в сплаве с 0,015%С от температуры максимального нагрева расплава. Сначала с ростом температуры нагрева расплава средний размер колоний эвтектики увеличивается, а затем, при температуре $t_{ан}$, наблюдается резкое измельчение размеров выделений. Дальнейшее повышение температуры нагрева расплава выше $t_{ан}$ вновь приводит к увеличению в литом металле размеров колоний эвтектической γ' -фазы. Из анализа кривых распределения по размерам выделений эвтектической γ' -фазы следует, что наибольшей однородностью характеризуется образец, нагретый в ходе опыта до $t_{ан}$.

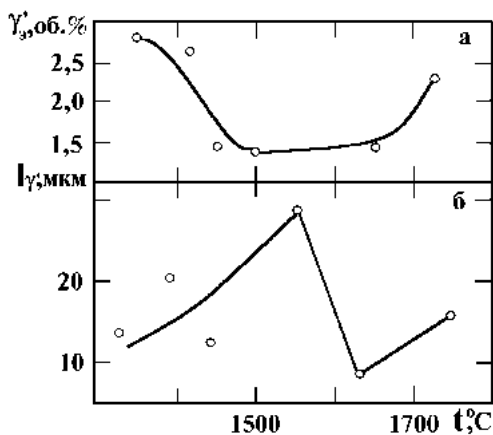


Рис. 3. Зависимость количества эвтектики (а) и ее среднего размера (б) от температуры нагрева расплава для сплава, содержащего 0,006 мас.%С

Одной из основных фаз, определяющих свойства жаропрочных сплавов, являются карбиды эвтектического происхождения. Они появляются в изчленных сплавах при концентрации углерода 0,07% и выше. Наиболее ярко изменение морфологии карбидов эвтектического происхождения наблюдается для образцов сплава, содержащих 0,14 мас.%С. В образцах, нагретых в жидком состоянии до температур 1425-1600°C, выделяющиеся карбиды в основном имеют неблагоприятную морфологию «китайские иероглифы», но незначительная часть карбидов выделяется в виде отдельных октаэдров. Повышение температуры в указанном интервале приводит к некоторому уменьшению доли карбидов неблагоприятной

морфологии. В образцах, нагретых в ходе опыта до 1695°C , т.е. до $t_{\text{ан}}$, карбиды имеют в основном октаэдрическую форму. Дальнейшее повышение температуры нагрева расплава выше $t_{\text{ан}}$ вновь приводит к появлению карбидов неблагоприятной морфологии.

С ростом содержания углерода количество карбидов эвтектического происхождения увеличивается. Зависимость количества карбидов эвтектического происхождения в литом сплаве от температуры нагрева расплава приведена на рис.4,а. Сначала наблюдается некоторое повышение количества карбидов, причем максимум – при наибольшем переохлаждении расплава. Затем обнаружено их небольшое снижение и при дальнейшем увеличении температуры до 1850°C вновь возрастание.

На рис. 4,б показано влияние температуры нагрева жидкого металла на средний размер карбидов эвтектического происхождения в литом сплаве, содержащем 0,14 мас. %С.

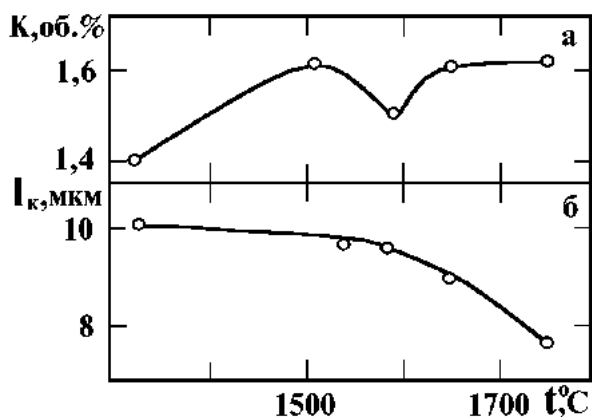


Рис. 4. Влияние температуры нагрева расплава на количество карбидов K (а) и их средний размер l_k (б) в жаропрочном сплаве с 0,14 мас. %С

Обнаружено, что с ростом температуры максимального нагрева размеры карбидов уменьшаются. Видно, что в карбидах, имеющих морфологию «китайские иероглифы», интенсивно выделяются очень мелкие частицы с размерами 2-5 мкм (рис.5). Кроме того, наблюдается и второй пик для карбидов с размерами 12-18 мкм. Это вызвано тем, что карбиды в колониях «китайских иеро-

глифов» имеют стержневую форму. С увеличением температуры нагрева расплава в ходе опыта величина этого пика в литом металле уменьшается. В образцах, карбиды в которых имеют октаэдрическую форму, их размеры выравниваются, второго пика не наблюдается (см. рис.5).

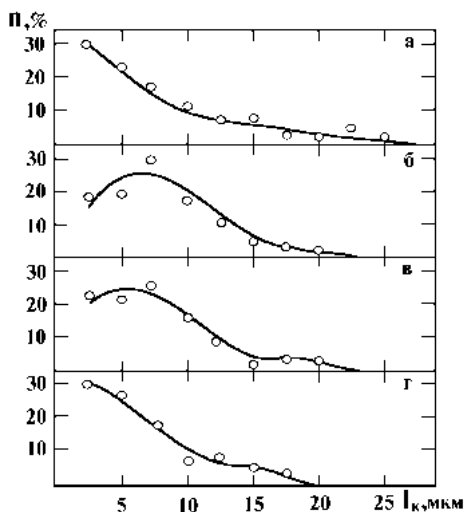


Рис. 5. Влияние температуры нагрева расплава в ходе плавки на распределение карбидов по размерам:

а – $t_{\max} = 1520^{\circ}\text{C}$;

б – $t_{\max} = 1580^{\circ}\text{C}$;

в – $t_{\max} = 1640^{\circ}\text{C}$;

г – $t_{\max} = 1740^{\circ}\text{C}$

Рассмотрим возможный механизм влияния состояния расплава на процесс фазообразования при кристаллизации и структуре литого металла.

После расплавления жидкие жаропрочные никелевые сплавы представляют собой неравновесную микрогетерогенную систему [1]: сильнолегированный никелевый раствор и сложные микроагрегаты. Эти группировки в определенной мере наследуют ближний порядок существовавших в твердом металле фаз. В зависимости от содержания легирующих элементов вид и состав микрогетерогенной системы может существенно меняться.

Микроагрегаты безуглеродистых жаропрочных сплавов представляют собой, по-видимому, динамические кластеры на основе интерметаллида $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$. Основываясь на результатах изучения температурных зависимостей удельного электросопротивления таких композиций, можно предположить, что завершение перехода от микрогетерогенного неравновесного состояния к однородному равновесному расплаву происходит в узком температурном интервале при температурах, близких к 1800°C (рис. 6).

Для углеродсодержащих (0,05-0,20 мас.%C) жаропрочных сплавов можно предложить следующую модель. В этом случае ядрами микроагрегата являются микрогруппировки Me-C со структурой, близкой к карбидам, а оболочкой могут служить динамические кластерные образования, сходные по составу и строению с соединениями типа Ni_xAl_y . Анализ политемер ρ [1] позволяет сделать вывод о том, что присутствующие в расплаве атомы углерода являются как бы катализатором процесса растворения оболочки микроагрегата. Действительно, при увеличении концентрации углерода до 0,14-0,16 мас.% температура перехода расплава в однородное состояние ($t_{ан}$) понижается на 100-150°, расширяется и интервал ($t_o - t_{ан}$), в котором происходят структурные перестройки (рис.6,а).

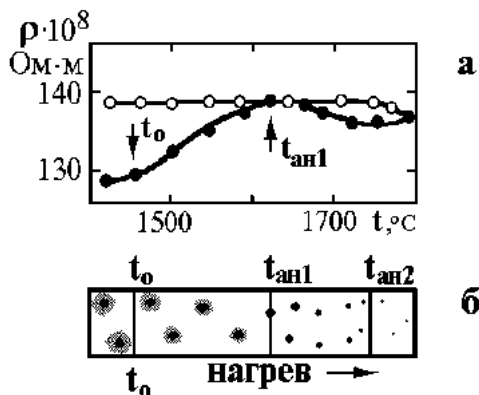


Рис. 6. Температурная зависимость удельного электросопротивления (ρ) жаропрочного сплава (а) и модель изменения его структуры при нагреве в жидком состоянии (б)

На рис. 6,б приведена возможная схема изменения строения расплава углеродсодержащих жаропрочных сплавов при нагреве. В области температур от плавления до t_o не происходит необратимых изменений структуры жидкого металла. При нагреве в интервале температур $t_o - t_{ан1}$ начинается необратимое разрушение оболочки микроагрегата. При этом чем выше температура в этой области, тем меньше размер микрогруппировки. Можно предположить, что при температуре $t_{ан1}$ полностью разрушается оболочка микрогруппировки, в расплаве остаются только ядра – карбидные

микрогруппировки типа Me-C. В области температур $t_{ан1} - t_{ан2}$ происходит их необратимое растворение. И наконец, выше температуры $t_{ан2}$ в расплаве формируется микрооднородное и равновесное состояние.

При последующем охлаждении жидкого металла, предварительно нагретого выше $t_{ан2}$, ранее разрушенные микрогруппировки вновь не образуются. Перед кристаллизацией в таком расплаве возможно существование равновесных микрогруппировок на основе связей Me-Al и Me-C, образующих как отдельные микрогруппировки, так и сложные комплексы типа (Me-C)+(Me-Al). Необходимо заметить, что размеры этих образований существенно ниже, чем у микроагрегатов, существовавших в жидком металле после расплавления.

ВЫВОДЫ

1. Выявлена взаимосвязь между состоянием расплава, фазообразованием при кристаллизации и структурой литых жаропрочных никелевых сплавов с различным содержанием углерода. Показано, что процесс кристаллизации и параметры литого металла сложным образом зависят от температуры максимального нагрева жидкого металла. Интенсивные перестройки структуры расплава приводят к увеличению переохлаждения, измельчению дендритной структуры, изменению морфологии карбидов и их размеров.

2. Предложен вариант модели, описывающий влияние температуры нагрева расплава на строения расплава и механизм кристаллизации жаропрочных сплавов.

Библиографический список

1. Получение отливок с гарантированным уровнем качества / Э.В. Колотухин, В.Н. Ларионов, Е.А. Кулешова, Б.В. Николаев // Литейное производство. 1988. № 9. С.11-12.
2. Колотухин Э.В., Тягунов Г.В., Баум Б.А. Влияние углерода на характер температурных и временных зависимостей удельного электросопротивления жаропрочных сплавов ЖС26 и ЖС6у // Расплавы. 1994. №5. С.28-31.
3. Масленкова Е.А. Кобылкин А.Н. Влияние температуры нагрева, времени выдержки и скорости охлаждения расплава на кристаллизацию сплава ХН62БМКТЮ // Структура, механические и физические свойства металлических материалов. М.: Наука, 1987. С.93-99.

УДК 669.14.018.254

В.Б. Бутыгин, А.С. Демидов

Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ НА СВОЙСТВА ШТАМПОВЫХ СПЛАВОВ ВЫСОКОЙ ТЕПЛОСТОЙКОСТИ

Известные быстрорежущие и штамповые стали, получающие высокую твердость в результате карбидного упрочнения, не обеспечивают достаточной производительности при деформировании таких материалов повышенной прочности, как высоколегированные конструкционные стали и многие нержавеющие и жаропрочные сплавы. Поскольку деформирование таких материалов надо выполнять при более высокой температуре, нужны сплавы с более высокими температурами разупрочнения. Между тем теплостойкость более легированных быстрорежущих кобальтовых сталей не превышает 650°C (для 60 HRC), а штамповых – 750°C (для 45 HRC).

Выше теплостойкость у сталей на Fe – Co – W основе с интерметаллидным упрочнением. Они сохраняют твердость 45 HRC после нагрева до 750–800°C. Однако достигнутый уровень теплостойкости и прочности является еще недостаточным для производительного деформирования указанных здесь сплавов.

Возможности значительного улучшения теплостойкости сталей с $\alpha \leftrightarrow \gamma$ превращением ограничены их сравнительно невысокими температурами фазовых превращений, поэтому существенно использовать сплавы, не претерпевшие фазовых превращений и прежде всего сплавы с аустенитной структурой. Однако такие сплавы должны существенно отличаться от известных жаропрочных сплавов. Прежде всего, они должны иметь более высокие твердость, не ниже 45 HRC, лишь в этом случае обеспечивается необходимое сопротивление пластической деформации во всем интервале эксплуатации.

Для исследования были использованы сплавы состава, указанного в таблице. Они были выбраны для более подробного изучения.

Сплавы X19K13M4TЮ, X19K11M10T3 рекомендуют для штампов экструзии и горячей штамповки. Остальные сплавы опыт-

ные. Выплавка сплавов производилась в лабораторной индукционной печи. Слитки ковали при 1200–1000^oC. Ковкость всех сплавов была пониженной. Несколько лучшая ковкость была только у сплавов X19K13M4TЮ, X19K5M10T3 и X15M5Ю6 (Ni), поэтому остальные сплавы изучались в литом состоянии.

Закалка образцов производилась с температур 1100-1275^oC (через каждые 25^oC) с охлаждением в воде, масле и на воздухе. Высокая твердость при последующем старении была получена при закалке с температур 1250–1275^oC. Оптимальной была выдержка 2 мин на 1 мм толщины. Лучший результат обеспечило охлаждение в масле и в воде.

Сплавы	Содержание элементов, %								
	C	Cr	Mo	W	Ti	Al	Co	Ni	Fe
X19K13M4TЮ	0,12	18,25	3,9	—	0,94	1,04	13,9	Ост	—
X19K11M10T3	0,12	18,3	10,4	—	2,1	—	10,5	Ост	—
X19K5M10T3	0,12	18,6	10,45	—	2,5	—	5,4	Ост	—
X15M5Ю6	0,12	14,6	4,5	—	—	6,3	—	Ост	—
B15M15(Co)	0,08	—	15,95	15,5	0,11	—	ОСТ	—	—
B15M15(Ni)	0,1	—	16	16,4	0,11	—	—	Ост	—
B15M15K45	0,04	—	15,8	15,8	0,13	—	44,9	—	Ост

Наибольшую твердость после HRC 36–39 имеют сплавы на железокобальтовой основе B15M15K45 и на кобальтовой основе B15M15(Co), у сплавов на никелевой основе B15M15(Ni) и X19K5M10T3 твердость ниже HRC 22–26.

Старение сплавов при 700–800^oC позволило получить твердость до значения, требуемого для штампов. В результате старения при 700^oC более высокую твердость приобретают сплавы: B15M15K45 на железокобальтовой основе и B15M15 на кобальтовой основе. Твердость сплава B15M15(Co) составляет 60 HRC после старения 50 ч. Достаточно высокую твердость (45 HRC) получает сплав X19K13M4TЮ на никелевой основе после старения 20 ч.

Иначе изменяется твердость при 800^oC. Наибольшую твердость, как и после старения при 700^oC, получает сплав B15M15(Co) (49 HRC, 50 ч) и сплав B15M15K45 (47 HRC, 20 ч). Близкие значения твердости имеет никелевый сплав X15M5Ю6.

В результате старения при 800^oC рост твердости происходит интенсивнее. Максимальную твердость сплавы приобретают после старения 10 ч.

Таким образом, сплавы B15M15(Co) на кобальтовой основе и X15M5Ю6 на никелевой основе после старения при 700, 800, и

850⁰С получают твердость, сопоставимую с твердостью штамповых сталей. Однако они значительно превосходят их по теплостойкости. Достаточно сказать, что известная стандартная штамповая сталь 3Х2В8Ф сохраняет твердость 45 HRC при нагреве до 630⁰С. Наиболее теплостойкая штамповая сталь 2Х8В8М2К8 до 745⁰С, исследуемые аустенитные сплавы В15М15К45 и Х15М5Ю6 – до 870⁰С.

Более подробному исследованию подвергли сплав Х15М5Ю6 на никелевой основе.

Введение в состав этого сплава углерода в количестве 0,1-0,12 мас.% является оптимальным, т.к. способствует образованию карбидов хрома, которые принимают участие в процессе дисперсионного твердения. При содержании углерода более 0,12 мас.% происходит уменьшение количества упрочняющей фазы Ni₃Al, что снижает твердость штампового сплава при старении.

Введение в состав хрома в количестве 13,0-15,0 мас.% увеличивает сопротивление сплава окислению при высоких температурах и повышает его способность к дисперсионному твердению без участия титана. При содержании хрома ниже 13,9 мас.% снижается количество карбидов хрома, которые принимают участие в процессе дисперсионного твердения. При содержании хрома более 15,9 мас.% происходит резкое снижение теплостойкости и жаростойкости штампового сплава.

Введением в состав алюминия в количестве 3,0-6,0 мас.% достигается максимальное количество упрочняющей фазы, что приводит к получению максимальной твердости после старения. При содержании алюминия ниже 3,0 мас.% не обеспечивается требуемая твердость штампового сплава за счет малого количества упрочняющей фазы. При содержании алюминия более 6,0 мас.% происходит снижение пластичных свойств штампового сплава и, как следствие, затруднение при ковке.

Введение в состав сплава молибдена в количестве 4,5-6,5 мас.% повышает температуру рекристаллизации у твердых растворов и замедляет их разупрочнение, а кроме того, способствует увеличению пластичности и прочности штампового сплава. При содержании молибдена ниже 4,5 мас.% происходит понижение температур старения, что, в свою очередь, снижает теплостойкость штампового сплава. Содержание молибдена более 6,5 мас.% нецелесообразно, т.к. не оказывает влияния на повышение твердости и прочности штампового сплава.

Исследуемый штамповый сплав выплавляли в открытой индукционной печи. Масса слитков составляла от 4 до 50 кг. Слитки

ковались на прутки сечением 12 x 12 мм. Степень деформации 76%. Температура ковки составляла 1050-1150°C. Охлаждение после ковки выполнялось на воздухе. Структура штампового сплава представлена аустенитом с мелкими равномерно распределенными интерметаллидными частицами.

Штамповый сплав исследовался на механические свойства в холодном и горячем состоянии после закалки и отпуска.

Закалка осуществлялась при температуре 1180–1200°C с выдержкой до 14–16 с на 1 мм сечения прутка для полного прогрева изделия с последующим охлаждением в масле. Твердость после закалки составила HRC 30-31.

Отпуск осуществлялся нагревом до температуры 700–850°C. При температуре 800°C после 10 ч выдержки твердость составила HRC 45–46. Для сравнительной оценки использовался штамповый сплав ХН53К11МЮТ.

Теплостойкость штампового сплава оценивалась по температуре длительного нагрева, после которого сохранялась твердость HRC 45. Данная температура равнялась 870°C, что выше, чем у штампового сплава ХН53К11МЮТ.

Определение механических свойств проводилось после обработки по приведенным ранее режимам, обеспечивающим получение твердости HRC 45–46.

Проведенные испытания показали, что предлагаемый состав штампового сплава обладает оптимальными свойствами. Он обеспечивает лучшую теплостойкость и механические свойства по сравнению с составом штампового сплава ХН53К11МЮТ (твердость HRC 45-46, относительное удлинение 12%, относительное сужение 19%).

Исследования показали, что предлагаемый сплав обеспечивает увеличение в 2–3 раза стойкость инструмента, в частности концевых фрез, выполненных из этого сплава, по сравнению со стойкостью инструмента, выполненного из штампового сплава ХН53К11МЮТ. Это позволяет применять предлагаемый сплав для изготовления прессовых инструментов, например мелких вставок окончательного штампового ручья, матриц и пуансонов выдавливания, а также штампов горячего деформирования, рабочая поверхность которых нагревается до 800–900°C.

Таким образом, использование предлагаемого штампового сплава (Х15Ю6М6 на никелевой основе) повышает эксплуатационную стойкость инструмента вследствие увеличения твердости и теплостойкости.

УДК 621.74

И.Н. Ердаков, В.В. Новокрещенов

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

**ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА КРИСТАЛЛИЗАЦИЮ СИЛУМИНА (АК7ч) И СТАЛИ (20ГЛ)**

Одним из новых способов внешнего воздействия на расплавы металлов является обработка наносекундными электромагнитными импульсами (НЭМИ) [1].

Однако на сегодняшний момент отсутствуют данные о влиянии наносекундных импульсных электрических токов (НИЭТ) на кристаллизационные процессы литейных сплавов.

На основании анализа литературных данных и предварительных экспериментов [2, 3] разработана лабораторная установка с включением генератора электромагнитных импульсов в режим короткого замыкания. Установка, представленная на рис. 1, позволяет изучать воздействие наносекундных импульсных электрических токов на кристаллизацию металлических расплавов.

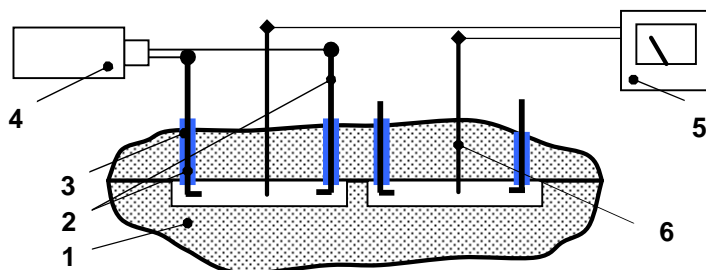


Рис. 1. Экспериментальная установка для изучения воздействия импульсных электрических токов на кристаллизацию металлических расплавов: 1 – разовая песчано-глинистая форма; 2 – электроды; 3 – изоляционный материал; 4 – генератор НЭМИ марки FID-technology; 5 – милливольтметр; 6 – термопара

Установка собирается следующим образом. Сначала изготавливается разовая песчано-глинистая форма, в которую устанавливаются электроды и термопара. Затем к одной паре электро-

дов подключается генератор НЭМИ, и в форме создается импульсное поле.

Исследования проводились для литейных сплавов марок: АК7ч и 20ГЛ. Параметры генератора НЭМИ имели значения:

- длительность импульса 0,5 нс;
- амплитуда импульса 10 кВ;
- фронт импульса 0,1 нс;
- частота повторения импульсов 1000 Гц.

Результаты металлографических исследований образцов, полученных вблизи активного электрода, представлены на рис. 2. Механические свойства контрольных и опытных образцов указаны в табл. 1.

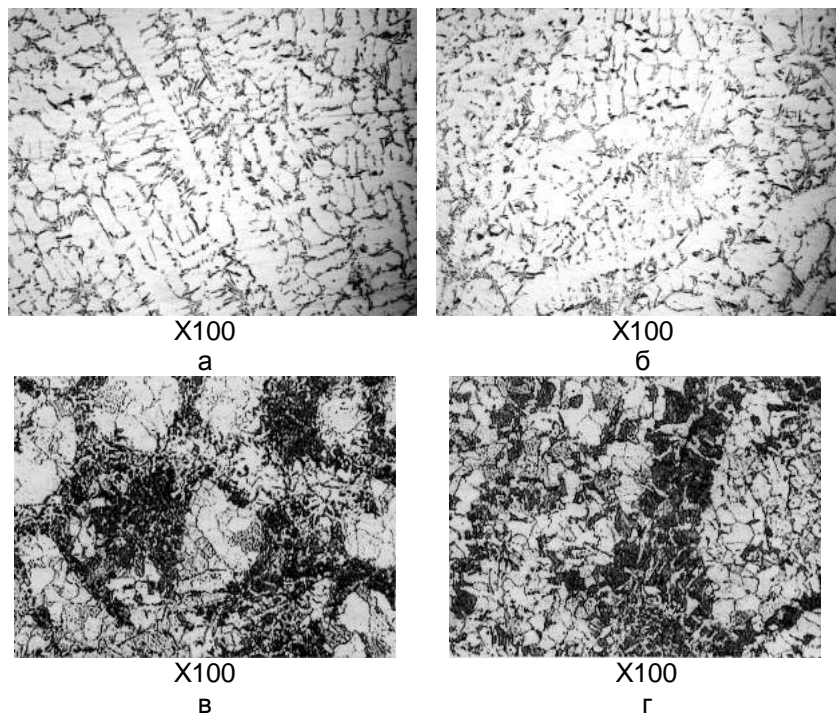


Рис.2. Микроструктуры силумина и стали:

- а – контрольный образец из сплава АК7ч; б – опытный образец из сплава АК7ч; в – контрольный образец из сплава 20ГЛ; г – опытный образец из сплава 20ГЛ

Таблица 1

Механические свойства контрольных и опытных образцов из силумина АК7ч и стали 20ГЛ

Тип образца	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ ⁺²⁰ , Дж/см ²	КСУ ⁻⁶⁰ , Дж/см ²
Контрольный (АК7ч)	159	115	1,3	–	–	–
Опытный (АК7ч)	172	138	1,8	–	–	–
Контрольный (20ГЛ)	296	507	24,0	42,0	104–115	17–20
Опытный (20ГЛ)	295	531	24,0	42,0	110–115	29–31

Кривые охлаждения и значения поверхностной твердости образцов из сплава АК7ч приведены на рис.3 и в табл.2 соответственно.

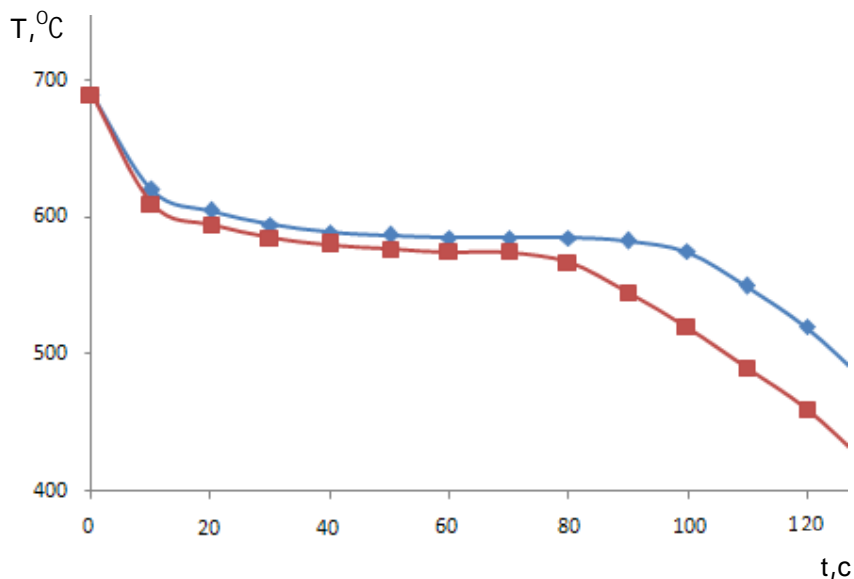


Рис. 3. Кривые охлаждения расплава силумина марки АК7ч:
1 – без НИЭТ; 2 – в условиях НИЭТ

Таблица 2

Поверхностная твердость образцов из сплава АК7ч

Тип образца	Поверхностная твердость (НВ) при изменении расстояния от активного электрода (мм)					
	10	20	30	40	50	60
Контрольный (АК7ч)	82,6	82,6	79,6	76,8	76,8	76,8
Опытный (АК7ч)	96,3	92	92	89	85,7	85,7

Из рисунков и таблиц видно, что кристаллизация силумина в условиях импульсного электрического тока приводит к формированию более мелкой структуры, повышению в 1,2 раза предела прочности, текучести и твердости материала. Для стали данное воздействие повышает на 25–30% значения ударной вязкости при отрицательных температурах.

Проведенные исследования позволили разработать установку для изучения воздействия импульсных электрических токов на кристаллизацию металлических расплавов. Установлено влияние НИЭТ на кристаллизационные процессы и механические характеристики сплавов: увеличивается степень переохлаждения расплава, снижается интервал его кристаллизации, уменьшается размер зерна, возрастают механические свойства силумина марки АК7ч и стали 20ГЛ.

Библиографический список

1. Электроимпульсные нанотехнологии / Балакирев В.Ф., Крымский В.В., Кулаков Б.А., Ри Хосен; под. ред. чл.-кор. РАН Л.А. Смирнова. Екатеринбург: УрО РАН, 2009.
2. Ермаков И.Н. Установка исследования влияния импульсного электромагнитного воздействия на стадии кристаллизации литейных сплавов. Миасс: ШПНТ, 2009. С.84.
3. Ермаков И.Н. Влияние импульсного электромагнитного воздействия на кристаллизацию алюминиевого сплава // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. тр. / под. ред. В.М. Колокольцева. Вып.9. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. С.102–105.

УДК 669.715:621.746.6

Т.К. Костина, И.В. Вандышева, Е.Е. Барышев, Г.В. ТягуновУральский государственный технический университет – УПИ
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

ПОДГОТОВКА РАСПЛАВА ДОЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА К КРИСТАЛЛИЗАЦИИ КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ ЛИТОЙ СТРУКТУРЫ

Сплавы алюминия с кремнием – силумины – основа практически важных композиций, применяемых в технике, характеризуются благоприятным сочетанием литейных и механических свойств. Для повышения и стабилизации эксплуатационных характеристик, оптимизации структуры необходимо постоянное совершенствование технологии производства.

Одной из наиболее важных задач, которые приходится решать при производстве отливок из силумина, – улучшение структуры литого металла. Измельчение зерна, дендритных ячеек, уменьшение количества и изменение морфологии неравновесной эвтектики и грубых первичных интерметаллидов – факторы, которые способствуют повышению прочностных и пластических свойств. Наиболее доступным и достаточно эффективным методом формирования структуры многокомпонентных сплавов может служить направленная подготовка расплава к кристаллизации путем его высокотемпературной обработки [1].

В работе рассмотрен промышленный сплав на основе алюминия и кремния доэвтектического состава, который применяется в автомобилестроении для производства деталей двигателей внутреннего сгорания. Химический состав сплава приведен в табл. 1.

Таблица 1
Химический состав доэвтектического силумина

Элемент, мас. %								
Al	Si	Cu	Mg	Ni	Mn	Ti	Fe	Zn
Основа	7,0 – 8,0	1,0 – 1,5	0,3 – 0,5	<0,3	<0,4	<0,2	<0,8	<0,2

Изучение структурного состояния расплава проводилось путем измерения его кинематической вязкости (γ) [2]. Исследование процесса кристаллизации сплавов выполнено методами дифференциального термического анализа (ДТА) и измерения абсолютных значений плотности металла (d) [3]. Термические эффекты, обнаруженные на термограммах ДТА, идентифицированы согласно выводам работ [4,5].

Выполнен металлографический анализ структуры литых образцов. Объемная доля структурных составляющих определена точечным методом, линейные размеры - методом секущих.

Политермы кинематической вязкости изученных образцов имеют вид, характерный для алюминиевых сплавов [3]. Исследования кинематической вязкости расплава позволили выявить характерные температуры для сплава: t_{a1} - температура аномального изменения вязкости при нагреве, t_c - критическая температура, при достижении которой происходит максимальное ветвление политерм вязкости, t_{a2} - температура аномального изменения вязкости при охлаждении. При достижении температур t_{a1} и t_{a2} на зависимости $\gamma(t)$ в ходе нагрева и охлаждения наблюдаются изломы, не характерные для классической экспоненциальной зависимости кинематической вязкости от температуры, которые свидетельствуют о наличии структурных превращений в жидком сплаве, протекающих при нагреве и охлаждении.

Таким образом, кристаллизация металла осуществляется из разных структурных состояний, если в процессе выплавки максимальная температура нагрева расплава не достигла критической для данного сплава температуры ($t_{h1} < t_c$) либо превысила ее ($t_{h2} > t_c$).

Результаты дифференциального термического анализа, полученные при охлаждении образцов исследуемого сплава, нагретых до различных температур, представлены на рис. 1.

Три температурных интервала фазовых превращений наблюдаются на кривых ДТА доэвтектического сплава, нагретого в жидком состоянии до t_{h1} и t_{h2} . Кристаллизация сплава начинается с выделения первичных кристаллов α -твердого раствора на основе алюминия (первый пик на кривой ДТА), образующих впоследствии дендритный каркас. Образование тройной эвтектики, которому соответствует второй, максимальный по высоте пик на кривой ДТА, включает эвтектический распад с образованием интерметаллидных фаз – $(\text{FeMnCu})_3\text{Si}_2\text{Al}_{15}$, FeSiAl_5 ; кремния и твердого раствора алюминия. Третий, самый маленький пик соответствует выделе-

нию фазы CuAl_2 , образование которой завершает процесс кристаллизации сплава. Повышение максимальной температуры нагрева металла с t_{h1} до t_{h2} не приводит к изменению характера кривых ДТА. Однако температуры, соответствующие началу выделения эвтектических фаз смещаются в область более высоких температур. Температура ликвидус остается практически неизменной. Следовательно, происходит сужение температурных интервалов кристаллизации всех фаз, кроме последней. Температурный интервал выделения интерметаллида на основе меди расширяется. Таким образом, нагрев сплава выше t_c приводит к уменьшению температурного интервала кристаллизации α -твердого раствора и тройной эвтектики.

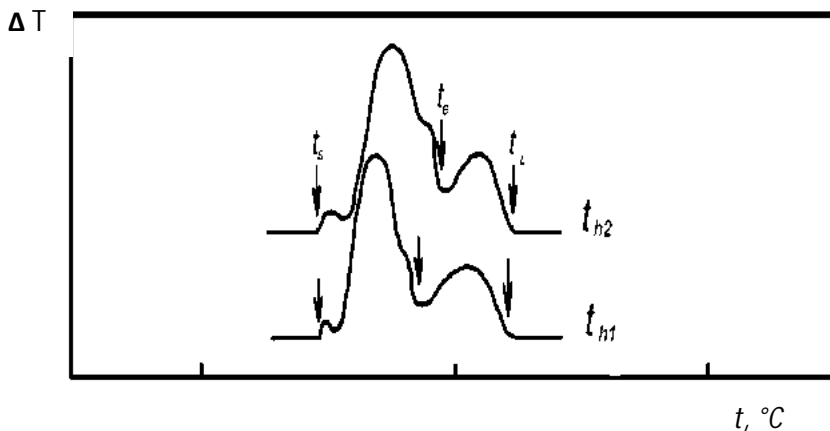


Рис. 1. ДТА – кривые доэвтектического силумина (максимальные температуры нагрева расплава обозначены справа у кривых)

Экспериментальные данные о характере изменения плотности сплава при охлаждении, в интервале кристаллизации в зависимости от структурного состояния расплава, представлены на рис. 2. Можно выделить несколько характерных температурных интервалов: • $t_h - t_L$ – увеличение плотности расплава при охлаждении от температуры нагрева до температуры ликвидус соответствует классической температурной зависимости $d(t)$ для металлических расплавов; • $t_L - t_e$ – увеличение плотности металла вследствие выделения α -твердого раствора алюминия; • $t_e - t_s$ –

увеличение плотности при кристаллизации многокомпонентной эвтектики. Дальнейшее охлаждение твердого металла приводит к некоторому увеличению и стабилизации значений плотности.

Известные концепции структурообразования в алюминиевых сплавах свидетельствуют о том, что в процессе эвтектического превращения кристаллизуется многокомпонентная эвтектика. Эвтектическое превращение протекает поэтапно. «Наплыв» на участке $t_l - t_s$, вероятно, связан с выделением интерметаллидных соединений.

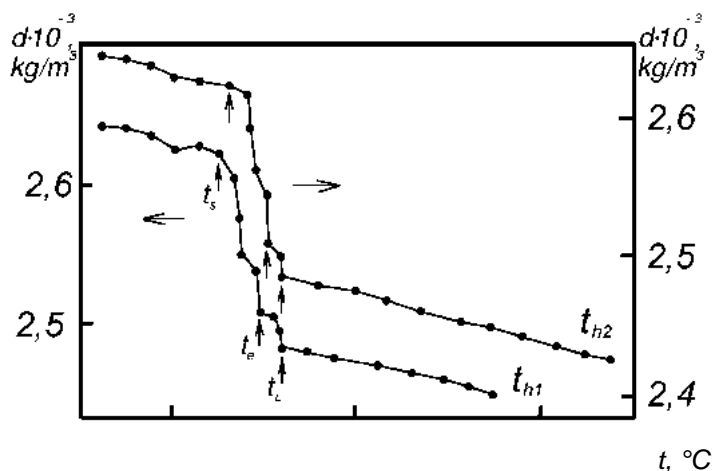


Рис. 2. Температурная зависимость плотности силумина при кристаллизации; максимальные температуры нагрева расплава обозначены справа у кривых

Результаты, полученные методами ДТА и изучения плотности расплава, хорошо коррелируют между собой. Оба свидетельствуют о многостадийности процесса кристаллизации доэвтектического силумина.

Структура литых силуминов имеет следующие составляющие: дендриты α -твердого раствора на основе алюминия, сложная эвтектики ($\alpha + \text{Si} +$ интерметаллидные включения различной стехиометрии и морфологии) [6]. Поскольку механические, литейные и коррозионные свойства материала зависят от микроструктуры, то можно предположить, что материал с мелкодисперсной однородной структурой будет обладать повышенными и стабильными свойствами.

Присутствие в структуре силумина интерметаллидной фазы на основе железа связано с легированием, условиями выплавки и постепенным накоплением железа в процессе многократного использования отходов собственного производства. По морфологии интерметаллиды разделяются на два типа: скелетный и игольчатый. Интерметаллиды скелетного типа по стехиометрии вероятнее всего [6] соответствуют $(\text{FeMnCu})_3\text{Si}_2\text{Al}_{15}$ (тип 1), кристаллизуются в виде разветвленных сложных частиц и могут вносить некоторый вклад в упрочнение, выступая в роли каркаса. Игольчатые интерметаллиды – FeSiAl_5 (тип 2) и CuAl_2 (тип 3) – формируются в виде отдельных игл, являются концентраторами напряжений и оказывают неблагоприятное воздействие на прочностные характеристики [6]. Следовательно, интерметаллиды, имеющие игольчатую морфологию, являются нежелательными составляющими структуры силуминов. Для получения качественных отливок необходимо уменьшить объемную долю нежелательной фазы, средние линейные размеры ее частиц или изменить ее морфологию.

Таблица 2

Влияние максимальной температуры нагрева расплава
на параметры основных фазовых составляющих

Фаза	Максимальная температура нагрева расплава, °С			
	t_{h1}		t_{h2}	
	Объемная доля, %	Линейный размер частиц, мкм	Объемная доля, %	Линейный размер частиц, мкм
α -твердый раствор	34,5	343,3	37,7	235,2
$\text{Si}_{\text{eutectic}}$	29,2	93,2	25,2	46,4
Интерметаллиды:				
тип 1	0,83	42,1	0,65	31,4
тип 2	2,57	31,6	3,04	30,9
тип 3	0,43	45,3	0,41	43,8

Увеличение температуры нагрева расплава в процессе выплавки выше критической способствует формированию более равноосной дендритной структуры в твердых образцах, ликвидации отдельных обширных областей эвтектики и более равномерному распределению ее по сечению образца. Частицы интерметалли-

дов со скелетной морфологией приобретают более разветвленную форму, частицы интерметаллидов с игольчатой морфологией выделяются в виде компактных колоний, а не отдельных грубых частиц. Данные количественного металлографического анализа представлены в табл. 2.

Повышение максимальной температуры нагрева расплава до температур, превышающих t_c , приводит к увеличению объемной доли дендритов α -твердого раствора на основе алюминия и уменьшению их линейных размеров примерно на 30%. Объемная доля и линейные размеры эвтектического кремния несколько уменьшились. Высокотемпературная обработка расплава повлияла и на интерметаллидные фазы.

Таким образом, нагрев расплава выше критической температуры способствует измельчению структурных составляющих и повышению однородности их распределения. Следовательно, подготовка расплава к кристаллизации путем его высокотемпературной обработки является одним из факторов, влияющих на формирование литой структуры доэвтектического силумина.

Библиографический список

1. Баум Б.А., Хасин Г.А., Тягунов Г.В. Жидкая сталь. М.: Metallurgy, 1984. 208 с.
2. Тягунов Г.В., Цепелев В.С., Кушнир М.Н. и др. // Заводская лаборатория. 1980. № 10. С. 919-920.
3. Хакимов О.П., Тягунов Г.В., Барышев Е.Е. и др. // Изв. РАН. Металлы. 1995. № 6. С. 11-5.
4. Вертоградский В.А., Рыкова Т.П. Жаропрочные и жаростойкие стали и сплавы на никелевой основе. М.: Наука, 1984. С.223-227.
5. Вертоградский В.А., Егорова Л.С. // Инженерно-физический журнал. 1979. Т.36. № 5. С. 481-486.
6. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. М.: Metallurgy, 1979. 639 с.

УДК 621.74.018.256

С.П. Павлов, А.А. Гулаков, И.Х. Тухватулин

ОАО «Кушвинский завод прокатных валков»

А.М. Долгополов, И.В. Иванова

Магнитогорский государственный

технический университет им. Г.И.Носова

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СПЛАВА*

Надежность и долговечность валков являются решающими факторами, определяющими качество продукции и экономическую эффективность прокатных станов. Для изготовления валков необходимо применять материалы с невысокой стоимостью, но при этом свойства валка должны быть высокими.

С целью повышения качества и конкурентоспособности прокатных валков специалистами ОАО «КЗПВ» ведется постоянная работа по усовершенствованию технологии выплавки, модифицирования и заливки валков.

Выплавка чугуна в ОАО «КЗПВ» осуществляется в индукционных тигельных печах средней частоты производства компании АВВ. При выплавке чугуна первым важным фактором, влияющим на его качество, является правильный подбор шихты. Как правило, шихта состоит из возврата собственного производства, лома отработавших валков, стального и чугунного лома и доменного чугуна. Последний компонент является обязательным для обновления шихты.

После доводки чугуна по химическому составу недопустима длительная выдержка его в печи. Перегрев чугуна перед выпуском из печи подбирается таким образом, чтобы избежать простоев перед модифицированием, т.е. к моменту модифицирования температура чугуна должна соответствовать заданной.

В результате совместной работы специалистов ОАО «КЗПВ» и компании «НПП» были подобраны модификаторы и их фракция для сортопрокатных и листопрокатных валков: магнийсодержащий ФСМг и вторичный ФС65Ба4 производства компании «НПП».

* Работа выполнена под руководством Гималетдинова Р.Х.

Фракция модификаторов зависит от температуры и способа модифицирования и сильно влияет на качество процесса.

Для модифицирования чугуна сортопрокатных валков специалистами ОАО «КЗПВ» была разработана технология комплексного модифицирования в ковше. По этой технологии в ковш со специальной крышкой загружаются магнийсодержащий модификатор ФСМг и вторичный ФС65Ба4. Время от начала комплексного модифицирования до начала заливки должно быть минимальным. В зависимости от требований к сортопрокатным валкам, часть из них отливается в кокиль с тонкой покраской, другие — в кокиль с теплоизолирующим покрытием, поэтому скорость кристаллизации валков различается. Соответственно различается и графит в структуре валков: при литье мелко- и среднесортных валков в кокиль с тонкой покраской формируется шаровидный графит правильной формы (ШГф5) диаметром 25-90 мкм (рис. 1, а), а при литье крупносортовых валков в кокиль с теплоизоляцией — менее правильной формы (преимущественно ШГф4) диаметром 90-180 мкм (рис. 1, б).

После анализа результатов комплексного модифицирования был сделан вывод, что при литье крупносортовых валков в кокиль с теплоизоляцией длительность эффекта модифицирования недостаточна для формирования графита правильной шаровидной формы. Поэтому специалистами ОАО «КЗПВ» была продолжена работа по улучшению технологии модифицирования крупносортовых валков.

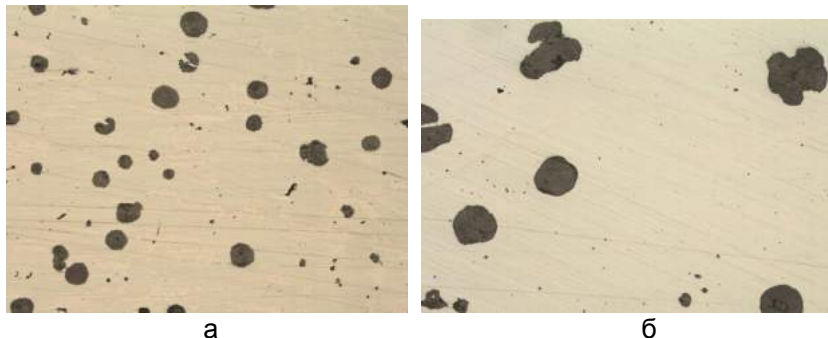


Рис. 1. Графит в чугуне после комплексного модифицирования (x100)

Поскольку после комплексной обработки проходит определенное время до заливки, а затем идет длительное затвердевание, имеет место угасание эффекта модифицирования.

Для устранения фактора времени, проходящего от модифицирования до заливки, было опробовано вторичное модифицирование на струю металла непосредственно при заливке. После подбора технологических параметров и фракции модификатора было достигнуто улучшение формы графита и уменьшение его диаметра в структуре крупносортных валков (рис. 2).

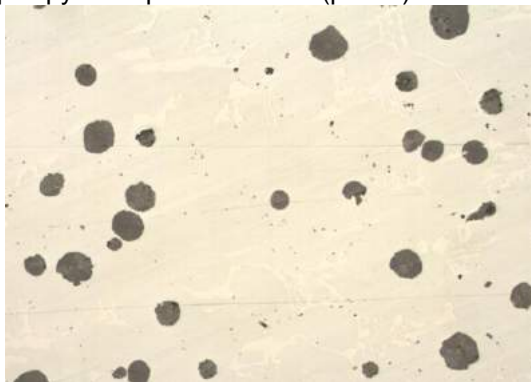


Рис. 2. Графит в чугуне крупносортных валков после модифицирования на струю металла (x100)

Таким образом, в настоящее время в ОАО «КЗПВ» применяются две технологии модифицирования: комплексное и на струю при заливке.

Улучшение качественных и экономических показателей прокатного производства во многом зависит от качества прокатных валков, расход которых по отрасли составляет примерно 0,3 кг/т проката. Служебные свойства валков должны отвечать предъявляемым к ним требованиям. Даже простые по конфигурации валки сложны в изготовлении, так как выполнение этих требований зачастую ограничено возможностями технологии. В валке должны совмещаться различные служебные свойства рабочего слоя, сердцевины и шеек. При этом недопустимы даже незначительные дефекты на рабочей части бочки валка.

УДК 621.74

И.Н. Ердаков, В.В. Новокрещенов

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТОРА НАНОСЕКУНДНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК

В последнее десятилетие сотрудниками кафедры литейного производства Южно-Уральского государственного университета ведутся исследования в области применения импульсных электромагнитных полей для изменения свойств различных материалов, включая и металлические расплавы. Данное электромагнитное воздействие отличается ресурсосберегающими характеристиками, генераторы импульсов имеют более длительный срок службы, чем ультразвуковые, и способ допускает использование большого количества типов форм.

На сегодняшний момент проведены серии экспериментов по изучению влияния импульсного электромагнитного воздействия (ИЭМВ) на кристаллизацию различного рода металлических сплавов. Развитием данного способа представляется методика обработки металлического расплава ИЭМВ на стадии кристаллизации [1].

В экспериментах изучали влияние ИЭМВ на кристаллизацию сплава АК7ч в зависимости от температуры заливки и содержания примеси железа. ИЭМВ имело следующие характеристики: длительность импульса 0,5 нс; амплитуда импульса 10 кВ; фронт импульса 0,1 нс; частота повторения импульсов 1000 Гц.

Результат влияния импульсного электромагнитного поля для разной температуре заливки сплава (700, 800 и 900°C) показаны на рис.1 и в таблице. В таблице $d_{ср}$ – средний размер дендритов α -фазы, P – пористость, T – твердость.

Установлено, что ИЭМВ способствует измельчению зерна силумина, и сплав формируется с более плотной структурой. Причем влияние ИЭМВ усиливается с увеличением температуры заливки, что связано с большим пребыванием в жидком состоянии и, следовательно, с увеличением времени воздействия на металлический расплав [2].

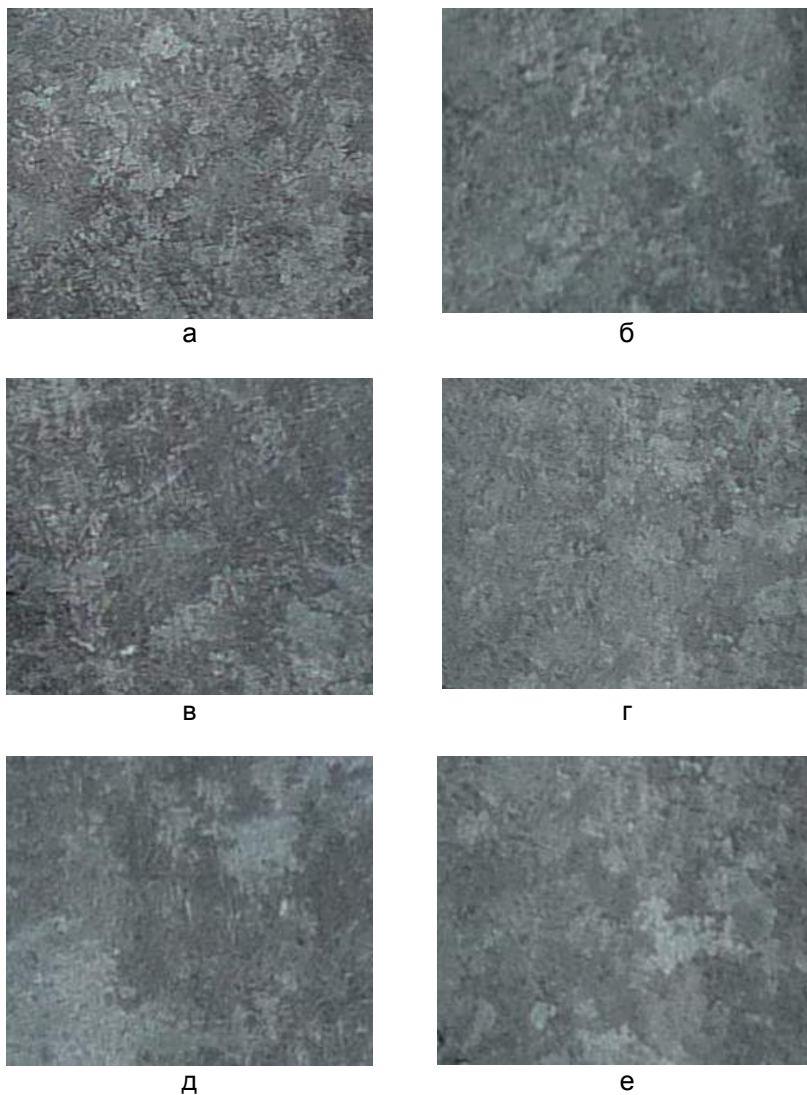


Рис. 1. Макроструктуры образцов из сплава АК7ч:
а, в, д – контрольные, б, г, е – сформированные в условиях
ИЭМВ воздействия; а и б – для $T_{\text{зал}}=700^{\circ}\text{C}$;
в и г – для $T_{\text{зал}}=800^{\circ}\text{C}$; д и е – для $T_{\text{зал}}=900^{\circ}\text{C}$
Результаты измерения свойств образцов

Образец	Параметры		
	dcp, мкм	P, балл	T, НВ
Контрольный*	170	1	101
Экспериментальный*	153	1	110
Контрольный**	161	2	115
Экспериментальный**	136	2	126
Контрольный***	132	3	140
Экспериментальный***	117	1	159

* Температура заливки сплава составляла 700°С

** Температура заливки сплава составляла 800°С

*** Температура заливки сплава составляла 900°С

Для повышения эффективности воздействия ИЭМВ на кристаллизующийся алюминиевый сплав и рассмотрения возможности использования низкосортных исходных материалов в шихту специально вводили железо в количестве 3,0% от общей массы.

Фотографии с РЭМ контрольного образца и сформированного в условиях ИЭМВ показаны на рис.2. По фотографиям видно, что контрольный образец получается с явно рыхлой структурой, а экспериментальный – формируется плотным.

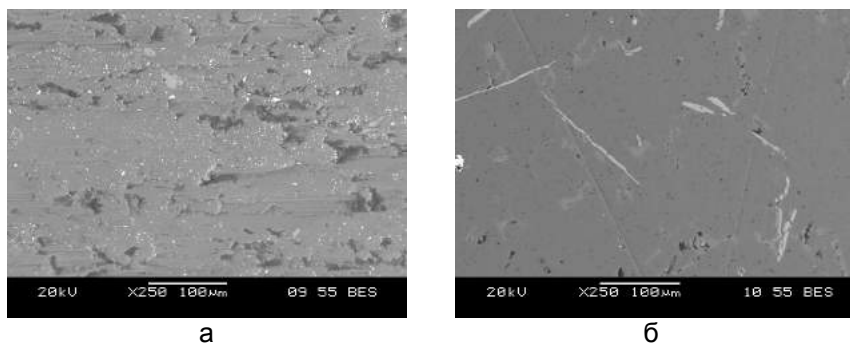


Рис. 2. Результаты съемки на РЭМ:

а – контрольный образец; б – экспериментальный образец

Существенное повышение эффективности рассматриваемого воздействия на металлические расплавы может быть достигнуто работой генератора импульсов в режиме короткого замыкания, т.е. без использования диэлектрика между электродами (кварце-

вой трубки). Такой способ введения импульсного электромагнитного поля в металлический расплав позволил упростить установку и реализовать ее в промышленных условиях.

В результате анализа литейных процессов по методике [3] разработана технология изготовления отливок с использованием генератора наносекундных электромагнитных импульсов.

Технологический процесс включает одиннадцать операций. Операция 1 – установка электродов в модельную оснастку. Операция 2 – приготовление формовочной смеси. Операция 3 – изготовление литейной формы. Операция 4 – загрузка шихты в плавильный агрегат. Операция 5 – выбор режима плавления. Операция 6 – плавка металла. Операция 7 – установка литейной формы на участок заливки. Операция 8 – подключение генератора к электродам и создание ИЭМВ в полости литейной формы (в более общем варианте технологии операция дополнительно предусматривает создание ИЭМВ в тигле с расплавом). Операция 9 – рафинирование и модифицирование расплава. Операция 10 – заливка литейной формы с ИЭМВ. Операция 11 – кристаллизация сплава и формирование отливки в условиях ИЭМВ. Выходными параметрами последней операции (кристаллизация сплава и формирование отливки в условиях ИЭМВ) являются: прочность отливки σ , МПа; относительное удлинение δ , %; плотность отливки ρ , г/см³; твердость отливки Тв, НВ.

Разработанный технологический процесс прошел успешные испытания в условиях действующего литейного производства ООО «ЧТЗ-Уралтрак» (г.Челябинск), Отмечено повышение прочностных характеристик алюминиевых отливок на 20–30% и снижение брака в 1,3–1,7 раза, связанного с нарушением их герметичности.

Библиографический список

1. Ердаков И.Н. Установка исследования влияния импульсного электромагнитного воздействия на стадии кристаллизации литейных сплавов. Миасс: ШПНТ, 2009. С.84.
2. Электроимпульсные нанотехнологии / Балакирев В.Ф., Крымский В.В., Кулаков Б.А., Ри Хосен; под. ред. чл.-кор. РАН Л.А. Смирнова. Екатеринбург: УрО РАН, 2009.
3. Новиков В.П. Элементы информационного и математического обеспечения проектирования и управления литейными процессами. М.: МГИУ, 2003.

УДК 669.183.054

Б.А. Буданов, Ю.А. Колесников, Ю.А. Чудинова

Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова

ОСОБЕННОСТИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АГРЕГАТА ДОВОДКИ СТАЛИ

Ковшечая обработка металлического расплава в современных условиях является неотъемлемой частью производства стали. От организации и качества ее проведения во многом зависят конечные технико-экономические результаты производственного процесса.

Одним из наиболее распространенных устройств для ковшечей обработки является агрегат доводки стали (АДС), в котором расплав продувается инертным газом и доводится до заданного уровня по химическому составу и температуре. Для успешной реализации возможностей физических и физико-химических процессов, протекающих в АДС, необходим выбор рациональных параметров режима обработки, соответствующих начальным и заданным условиям.

Конечные результаты обработки во многом зависят от квалификации обслуживающего персонала АДС. Сталевар АДС должен иметь хорошую теоретическую подготовку и обладать практическими навыками управления процессом как в штатных условиях, так и при возникновении аварийных ситуаций. Обучение персонала и повышение его квалификации желательно проводить на аналогах производственной деятельности (тренажерах, имитаторах, моделях и пр.), воспроизводящих различные, в том числе и аварийные, ситуации, осваивать которые в условиях действующего производства было бы рискованно, а подчас и невозможно. Современные компьютерные технологии позволяют имитировать различные варианты протекания производственных процессов с любым уровнем сложности [1].

Разработанный ООО «Корпоративные системы» имитатор-тренажер «Сталевар АДС» [2] включает в себя обучающий комплекс, построенный на базе полного отображения элементов управления работой АДС (рис. 1), устройств АДС (рис. 2) и имитационной математической модели физико-химических и тепловых процессов, происходящих в сталеразливочном ковше. Автоматизированная обучающая система включает в себя четыре части

обучения: устройство оборудования, пульт управления, технологический процесс, аварийные ситуации. Для каждой из этих частей есть два стандартных режима работы («Демонстрация» и «Тестирование»). Система включает в себя полный набор документации, необходимый для подготовки специалистов: описание оборудования, технические характеристики агрегата, технологические инструкции и инструкцию по работе с АСУ ТП, справочник марок сталей, план ликвидации аварий и другую документацию, которую должен знать обучаемый.

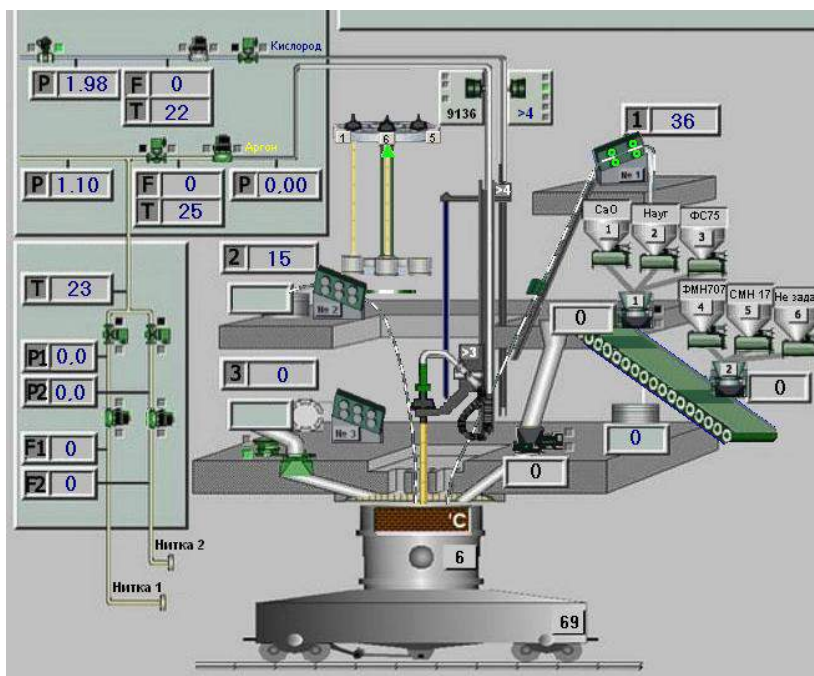


Рис.1. Общий вид имитатора АДС

На данном этапе разработанный обучающий комплекс представляет собой имитатор-тренажер, в котором математическая модель физико-химических и тепловых процессов, происходящих в сталеразливочном ковше, включает в себя эвристические элементы и использует неточную информацию. Именно неполнота описания объекта делает имитационную модель принципиально отличной от математической в традиционном смысле этого слова [3]. При этом важнейшим условием является качественно правильное

отображение моделью реального процесса, ее реакции на управляющие и возмущающие воздействия.

Режим работы		Продувочная фурма		Установить			
Дист.				Мест	Дист	Авт	
Узел	Команда		Состояние	Готов			
Отсечной клапан	Закреть Открыть		Закрит	<input checked="" type="checkbox"/>			
Регулирующий клапан	Min 30	100 м ³ /ч	Средн.	<input checked="" type="checkbox"/>			
	Max 100		0 м ³ /ч				
Аргонопровод	Отключить Подключить		Подключен	<input checked="" type="checkbox"/>			
Каретка фурмы	Вверх Вниз		Вниз	<input checked="" type="checkbox"/>			
	Стоп		9136				
в позицию	1	2	3	4	>3		
скорость	Малая Большая		Большая				
Текущая порция	00:00	ниже 4 поз.	00:00	На плавку	00:00	ниже 4 поз.	00:00

Режим работы		Донная продувка		Установить		
Дист.		Нитка 1		Мест	Дист	Авт
Узел	Команда		Состояние	Готов		
Отсечной клапан	Закреть Открыть		Закрит	<input checked="" type="checkbox"/>		
Регулирующий клапан	Макимум 100		Средн.	<input checked="" type="checkbox"/>		
	80 м ³ /ч		0 м ³ /ч			
Текущая порция	00:00	0.00 м ³	На плавку	00:00	0.00 м ³	

Режим работы		Донная продувка		Установить		
Дист.		Нитка 2		Мест	Дист	Авт
Узел	Команда		Состояние	Готов		
Отсечной клапан	Закреть Открыть		Закрит	<input checked="" type="checkbox"/>		
Регулирующий клапан	Макимум 100		Средн.	<input checked="" type="checkbox"/>		
	80 м ³ /ч		0 м ³ /ч			
Текущая порция	00:00	0.00 м ³	На плавку	00:00	0.00 м ³	

Рис.2. Пульт управления продувкой расплава аргоном

Основу обработки расплава на АДС составляет начальная стадия: продувка расплава инертным газом с целью усреднения состава металла и его температуры в объеме ковша. Известно [4], что мерой процессов перемешивания служит величина диссипации энергии. Она характеризует энергию перемешивания, которая потребляется единицей массы расплава в единицу времени и обычно имеет размерность Вт/т. Чем больше диссипация энергии потока пузырей газа, тем меньше время полного перемешивания расплава. Если в расплаве имеются зоны с низкой интенсивностью перемешивания или застойные зоны, зависимость между диссипацией энергии и временем перемешивания ослабляется.

Обычно продувку газом в сталеразливочном ковше ведут снизу через две пористые пробки. В том случае, когда диссипация энергии столба поднимающихся газовых пузырей равномерно распределяется во всем объеме расплава, то ее величина (E) может быть определена по формуле [4]:

$$E^{1/2} = 15,1 \cdot \frac{(g \cdot G_{Ar} / V_n)^{0,75} \cdot H_n^{1,75}}{V_M \cdot (P_a + 0,8 \cdot H_n / H_\phi)},$$

где g - ускорение свободного падения, см/с²;

G_{Ar} - общий расход аргона на продувку, л/мин;

V_n - скорость подъема пузырей в расплавленном металле, см/с;

H_n - высота подъема пузырей (высота металла в ковше), см;

V_M - объем металла в ковше, см³;

P_a - давление над поверхностью металла, атм;

H_ϕ - ферростатическая высота металла в ковше, уравновешивающая давление 101325 Па, см.

На рис. 3 показана зависимость энергии перемешивания металла в сталеразливочном ковше от расхода аргона при различной скорости подъема пузырей газа в металле.

Связь энергии и времени полного перемешивания расплава показана на рис. 4.

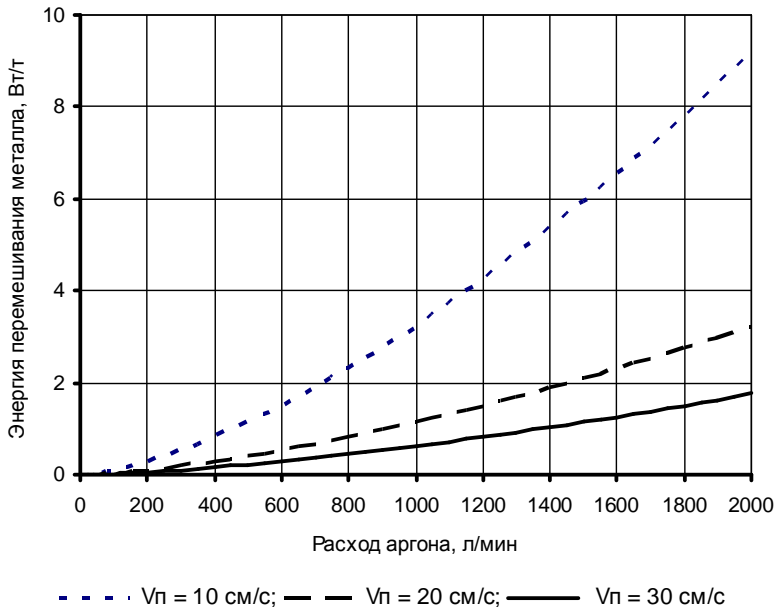


Рис. 3. Зависимость энергии перемешивания металла в сталеразливочном ковше от расхода аргона при различной скорости подъема пузырей (V_p) в металле

В случае, если донная продувка не обеспечивает интенсивное перемешивание металла, то производят продувку через верхнюю (аварийную) фурму (рис. 5).

Для имитационного моделирование теплового режима ковшевой обработки необходимо учитывать изменение температуры металла не только в процессе обработки, но и до ее начала: от момента выпуска металла из сталеплавильного агрегата до усреднительной продувки. При этом расчет температуры металла в ковше перед обработкой (t_{ϵ}) и после обработки его (t_i) на АДС можно производить по уравнениям:

$$t_k = t_n - v_k \cdot \tau_{mp} - v_{ш} \cdot \tau_{mp},$$

где t_i – температура металла в ковше после выпуска его из сталеплавильного агрегата, °С;

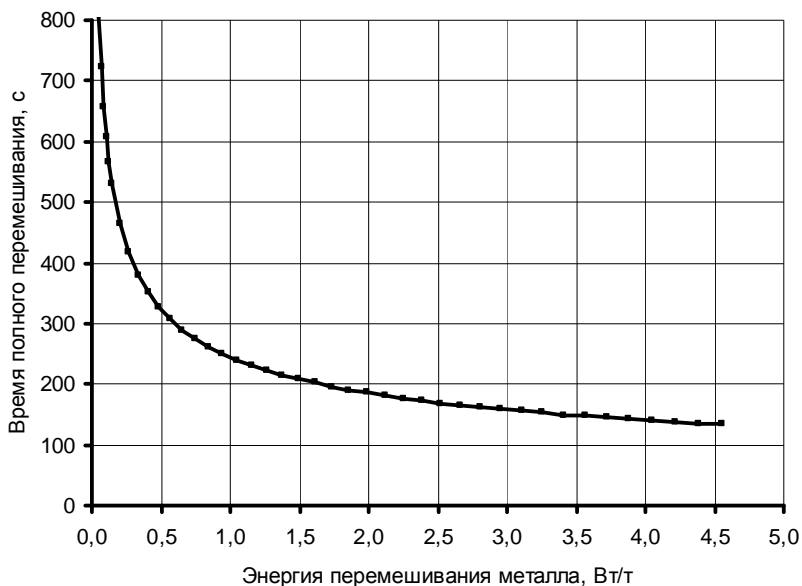


Рис. 4. Связь энергии и времени полного перемешивания металла в сталеразливочном ковше

v_k – скорость снижения температуры металла теплопроводностью и конвекцией в ковше при его транспортировке к АДС, °С/мин;

$v_{ш}$ – скорость снижения температуры металла через слой шлака в ковше, °С/мин;

τ_{mp} – время транспортировки ковша к АДС, мин.

$$t_M = t_k - k_1 \cdot G_{Ar} \cdot \tau_{Ar} - k_2 \cdot \tau_{сл} - v_k \cdot \tau_{обр} - v_{ш} \cdot \tau_{обр},$$

где t_k – температура металла в ковше перед обработкой, °С;

k_1, k_2 – эмпирические коэффициенты;

G_{Ar} – общий расход аргона на продувку, л/мин;

τ_{Ar} – время продувки металла аргоном, мин;

$\tau_{сл}$ – время охлаждения металла слябом, мин;

$\tau_{обр}$ – общее время обработки металла на АДС, мин.

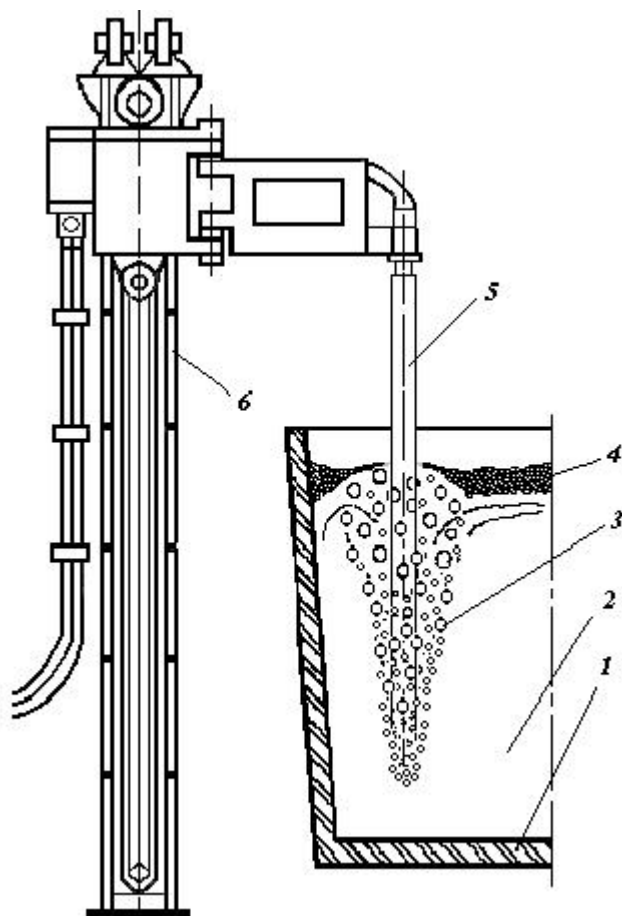


Рис. 5. Схема продувки стали в ковше аргоном сверху:
 1 – сталеразливочный ковш; 2 – металл; 3 – пузыри аргона;
 4 – шлак; 5 – фурма; 6 – несущая колонна с кареткой

Таким образом, имитационное моделирование процесса обработки расплава на АДС должно учитывать рассмотренные его технологические особенности и поставленные задачи. В учебных целях для настройки имитатора достаточно применение экспертной оценки эмпирических коэффициентов модели. При этом имитатор-тренажер должен определять параметры обработки расплава в

любой момент времени по запросу пользователя и иметь возможность отображать процесс в разном масштабе времени. Более высокая степень адаптации модели к условиям конкретного производства потребует проведения дополнительных исследований.

Библиографический список

1. Колесников Ю.А., Буданов Б.А. Особенности имитационного моделирования конвертерной плавки стали // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. Вып. 8. С. 180–188.
2. Использование имитаторов-тренажеров агрегатов сталеплавильного производства в условиях ОАО «ММК» / Ю. А. Чудинова, В.Н. Селиванов, Ю.А. Колесников и др.// Металлург. 2009. № 2. С. 55–59.
3. Прудковский Б.А. Зачем металлургу математические модели? М.: Наука, 1989. 192 с.
4. Кнюппель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали. Ч.II. Основы и технология ковшовой металлургии: пер. с нем. М.: Металлургия, 1984. 414 с.

УДК 669.1.018.25:624.74.011

М.Г. Потапов, П.А. Молочков, Л.Б. Долгополова

Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И.Носова

РАЗРАБОТКА НОВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ЛИТОГО ИНСТРУМЕНТА

Современная промышленность предъявляет все более жесткие требования к служебным характеристикам используемых инструментов и материалам для их изготовления. Так, в связи с увеличением удельных нагрузок на инструмент, износостойкость, жаростойкость, теплостойкость, коррозионная стойкость последних имеет очень большое значение.

Традиционно для изготовления инструмента применяют сплавы типа ВК, быстрорежущие стали типа Р6М5 и детали с наплавленным на рабочую поверхность слоем из порошка карбидов вольфрама, кобальта типа «Релит». Главный недостаток таких сплавов и инструмента из них – их высокая себестоимость. В то же время современные исследования показывают на возможность применения литого стального и чугунного инструмента, с таким подбором легирующего комплекса, что стоимость инструмента будет меньше, а стойкость не ниже.

На кафедре электрометаллургии и литейного производства МГТУ им. Г.И. Носова разработаны два новых состава инструментальных сплавов:

Чугун ИЧ300Х21ФТР для изготовления деталей типа «матрица I ОП», «матрица II ОП», «втулка калибрующая», «свеча».

Сталь 160Х123МФТРЛ для изготовления деталей типа «ролик падающий», «ролик профильный».

Из опытных сплавов были отлиты заготовки под вышеуказанный литой инструмент, и изучены основные механические свойства, а также специальные свойства (износостойкость, жаростойкость, теплостойкость) и микроструктура. Исследования проводились на образцах-свидетелях, отлитых в месте с заготовками.

В литом состоянии образцы-свидетели обладали высокой твердостью, что могло бы вызвать затруднения при изготовлении инструмента путем механической обработки. Поэтому были проведены эксперименты по снижению твердости с помощью термической обработки. Для уменьшения понижения твердости необходимо снизить твердость металлической основы и сохранить в большей степени строение и размеры износостойкой карбидной фазы. Это достигается в результате подбора вида и режима термической обработки. Виды и режимы термической обработки, а также их влияние на твердость и износостойкость представлены в табл. 1.

Таблица 1
Свойства чугуна до и после термической обработки

Вид термической обработки	Свойства чугуна	
	HRC, ед.	K _и , ед.
В литом состоянии	51	5,1
Отжиг при 800°С	38	3,1
Отжиг при 850°С	37	4,4
Отжиг при 900°С	36	4,0
Отжиг при 950°С	36	3,6

Окончание табл. 1

Вид термической обработки	Свойства чугуна	
	HRC, ед.	Kи, ед.
Закалка при 900°С в масло + отпуск при 180°С	56,5	4,7
Отжиг при 900°С + закалка при 900°С в масло + отпуск 180°С	53	2,8

Результаты металлографических исследований приведены в табл. 2, 3 и на рис. 1, 2.

Таблица 2

Влияние термической обработки на микротвердость карбидов и металлической основы

Номер образца	Микротвердость HV, ед.	
	металлической основы	карбидов
Литое состояние	651,55	663,20
Отжиг+закалка+отпуск	489,20	824,43
Закалка+отпуск	768,13	747,20
Отжиг 900	404,87	628,37
Отжиг 800	335,60	492,40
Отжиг 850	391,43	565,83
Отжиг 950	429,70	525,93

Таблица 3

Количественный анализ карбидов в зависимости от режима термической обработки

Номер образца	Объемная доля карбидов, %	Число карбидов, 1/мм ²	Длина карбидов, мкм	Площадь карбидов, мкм ²	Расстояние между карбидами, мкм
Литое состояние	26,1	6051	7,3	46	13,0
Отжиг +закалка +отпуск	35,2	5153	10,1	69	10,4
Закалка +отпуск	34,9	5718	7,8	63	10,5
Отжиг 900	27,7	6675	7,1	44	13,8
Отжиг 800	40	6718	11,2	79	16,3
Отжиг 850	27,7	6586	6,8	46	12,2
Отжиг 950	27,4	6176	7,6	47	10,94

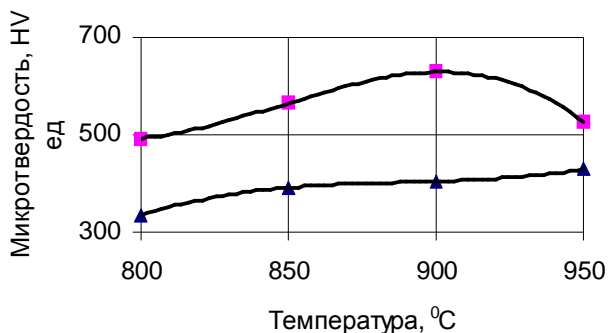


Рис. 1. Влияние температуры отжига на микротвёрдость карбидов (■) и металлической основы (▲)

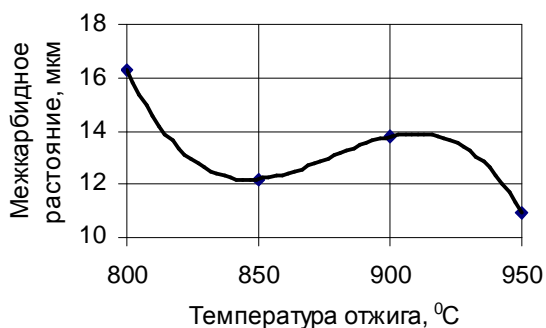


Рис. 2. Влияние температуры отжига на межкарбидное расстояние

Анализ микроструктуры экспериментального чугуна в литом состоянии показал следующее: металлическая матрица представлена ферритно-аустенитной смесью, эвтектикой и карбидами Cr_7C_3 . При проведении термической обработки (отжига) с различными температурами (см. табл. 2) структура чугуна становится более однородной. Максимальную микротвёрдость карбиды достигают при отжиге 900°C , а металлическая матрица — при отжиге 950°C , что объясняется перераспределением карбидообразующих элементов между продуктами распада аустенита. При этом максимальное значение микротвёрдости матрицы и карбидов ниже после отжига, нежели в литом состоянии. Более высокие свойства микроструктуры достигаются сложными режимами термической обработки вследствие того, что количество эвтектики в структуре увеличивается, межкарбидное расстояние и размеры карбидов уменьшаются. Но данные виды термической обработки целесооб-

разней проводить после механической обработки на готовом инструменте, чтобы придать требуемые свойства. Микроструктура исследуемого износостойкого чугуна в литом состоянии представлена на рис. 3.

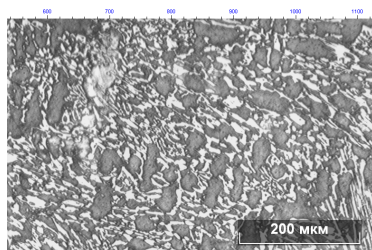


Рис. 3. Микроструктура чугуна ИЧ300Х21ФТР в литом состоянии

Микроструктуры опытного чугуна после отжига при различных температурах представлены на рис. 4, а на рис. 5 – опытного чугуна после сложных режимов термической обработки.

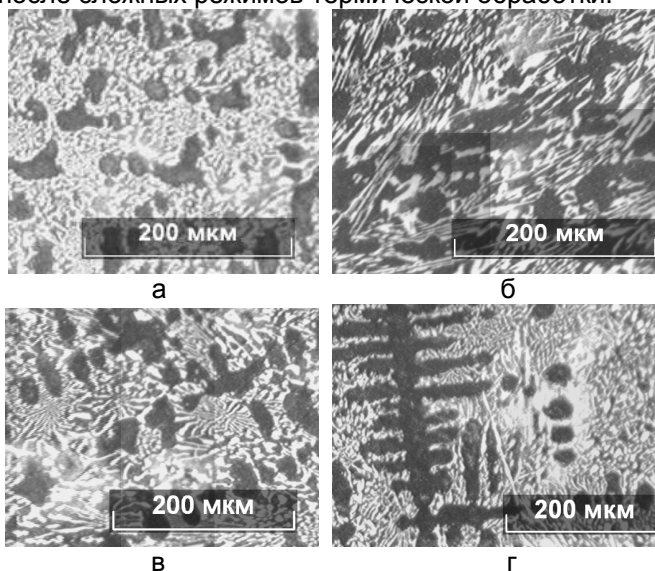


Рис. 4. Микроструктура чугуна ИЧ300Х21ФТР после отжига при различных температурах:
а – 800⁰С; б – 850⁰С; в – 900⁰С; г – 950⁰С

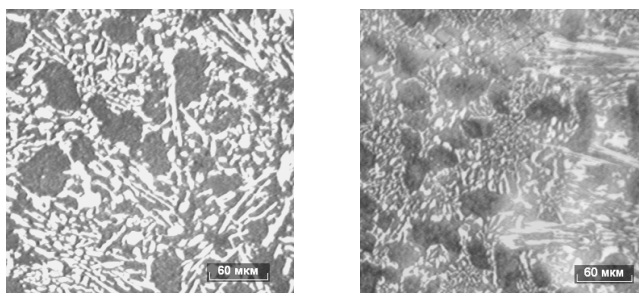


Рис. 5. Микроструктура чугуна ИЧ300Х21ФТР после сложного режима термической обработки:

а – отжиг при 900°С + закалка при 900°С в масло + отпуск 180°С;
 б – закалка при 900°С в масло + отпуск при 180°С

Исследовали образцы из опытного чугуна на механические и специальные свойства (твердость, прочность, износостойкость, теплостойкость и жаростойкость) (табл. 4, 5).

Таблица 4

Твердость, прочность, износостойкость и жаростойкость чугуна ИЧ300Х21ФТР в литом состоянии

Свойства чугуна ИЧ300Х21ФТР				
HRC, ед.	K _И , ед.	σ _в , МПа	h _{ув} , мм	L, %
51,0	5,1	648	0,6	0,08

Таблица 5

Теплостойкость чугуна ИЧ300Х21ФТР в литом состоянии

Температура, °С	HRC, ед.	σ _в , МПа
500	47,5	560
550	43,0	538
600	41,0	500
650	36,5	460
700	31,0	420

Образцы-свидетели, отлитые вместе с заготовками под литой инструмент из опытной стали марки 160Х12МФТРЛ, были исследованы на основные механические и специальных свойства (износостойкость, жаростойкость, теплостойкость). Результаты исследований приведены в табл. 6.

Таблица 6

Механические и специальные стали марки 160X12МФТРЛ

№ п/п	Твердость HRC, ед.	Прочность, МПа	Коэффициент относительной износостойко- сти Ки, ед.	Теплостой- кость HRC ⁽⁶⁰⁰⁻⁷⁰⁰⁾ , ед.	Жаростой- кость	
					h _{ув} , мм	L, %
1	23,5	950	4,0	19,6	0,3	1,6
2	24,5	900	3,0	18,3	0,2	1,3
3	22,0	980	3,2	17,0	0,4	1,9
Среднее	23,0	943	3,4	---	0,3	1,6

Микроструктура опытной стали в литом состоянии представлена в основном тонкопластинчатым перлитом и сплошной или частично разорванной сеткой хромистой эвтектики по границам зерен перлита рис. 6. Результаты исследования характеристик микроструктуры представлены в табл 7.

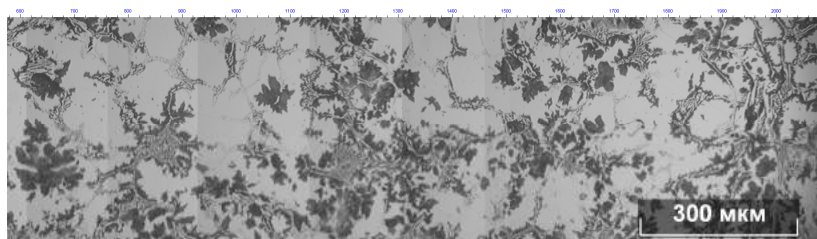


Рис. 6. Литая структура стали 160X12МФТРЛ

Таблица 7

Характеристики микроструктуры стали марки 160X12МФТРЛ
в литом состоянии

Номер образца	Характеристика карбидной фазы			Микротвёрдость Нv, ед.		
	Объем- ная до- ля кар- бидов, %	Средний размер кар- бидов, мкм	Межкар- бидное расстояние, мкм	эвтек- тики	метал- личе- ской основы	карби- дов
1	26,5	1,9	25,4	419,6	336,3	672,7
2	27,8	2,8	15,5	410,9	363,5	756,7
3	26,3	2,3	17,2	478,8	312,1	727,0

Для придания инструменту необходимых свойств и структуры был выбран режим термической обработки путем экспериментальных исследований (табл.8, 9). Для чугуна ИЧ300Х21ФТР оптимальным режимом термической обработки является отжиг при 850°С, а для стали – закалка в масле от 950-1000°С, отпуск при 390-410°С.

При закалке в структуре стали происходит мартенситное превращение, снижается доля перлита и появляется остаточный аустенит, структура измельчается, повышается твердость. Мартенсит в исследуемой стали имеет мелкоигльчатую структуру, что связано с присутствием в химическом составе ванадия и титана, которые образуют устойчивые карбиды МС. Данные карбиды сдерживают рост зерен аустенита до высоких температур. А так как иглы мартенсита формируются в пределах аустенитного зерна, то соответственно, чем мельче зерно, тем мельче иглы мартенсита.

Таблица 8
Влияние термической обработки на твердость и износостойкость стали 160Х12МФТРЛ

№ п/п	Температура закалки, °С	Температура отпуска, °С	Коэффициент относительной износостойкости Ки, ед.	Твердость HRC, ед	Микротвердость, МПа	
					металлической основы	карбидов
1	1150	400	3,23	52	4177	15728
2	1050		3,68	62	5722	17048
3	1150		2,83	53	4635	16150
4	950		3,51	58	5059	15896
5	950	400	3,38	57	4912	16588

Таблица 9
Балл зерна мартенсита стали 160Х12МФТРЛ

№ п/п	Температура закалки, °С	Температура отпуска, °С	Балл мартенсита
1	1150	400	8-9
2	1050		1-2
3	1150		8-9
4	950		1-2
5	950	400	1-2

Таким образом, разработанные новые составы чугуна и стали обладают комплексом высоких механических и специальных свойств после проведения соответствующей термической обработки, и их можно применять для изготовления литого инструмента.

Из нового состава чугуна ИЧ300Х21ФТР отлиты в условиях литейной лаборатории МГТУ им. Г.И. Носова заготовки для изготовления следующего расходного инструмента: матрица I ОП, матрица II ОП, втулка калибрующая, свеча. Из нового состава инструментальной стали отлиты заготовки для изготовления деталей «ролик падающий» и «ролик профильный для проволоки периодического профиля $\varnothing 5$ мм». Инструмент изготовлен и проходит опытно–промышленные испытания.

УДК 621.74

А.Г. Сусенков, А.Н. Белогрудов, А.С. Горюхин

Уфимский государственный авиационный
технический университет, Башкортостан

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОРРЕКТИРОВКИ СПЛАВА И ЕГО ПАРАМЕТРОВ

Общая схема технологии процессов плавки и заливки литейного производства заключается в следующем: на начальном этапе происходит формирование шихтового набора (шихты) – компонентного набора для изготовления сплава, далее происходит загрузка сформированного шихтового набора в плавильную печь и его плавка. После изготовления сплава производится химический или спектральный анализ его элементного состава. Если состав сплава по результатам анализа соответствует нормативному, происходит заливка полученного сплава по формам для получения деталей. Иначе производится подшихтовка (корректировка по химическому составу) полученного сплава – добавление в него дополнительных материалов для получения нормативного состава сплава. После подшихтовки производится повторный химический анализ. Данная процедура повторяется до обеспечения соответствия фактического состава сплава нормативному.

Одна из особенностей литейного производства заключается в наличии многовариантности, характеризующей процесс литья и усложняющей возможность его автоматизации: так, один и тот же сплав в литейном производстве может быть получен различным набором компонентов и использован, в свою очередь, для изготовления различных видов деталей.

Первоначальным этапом расчета компонентов шихты является расчет массы металлозавалки на одну плавку, включающей массу свежего металла и возврат собственного производства. Данная процедура уже автоматизирована на многих предприятиях, а расчет корректировки по химическому составу сплава по ряду объективных причин проводится вручную по «опыту».

В результате неточного расчета приходится производить большое количество химических анализов и подшихтовок, что, в свою очередь, приводит к дополнительным временным и материальным затратам.

В рамках автоматизации учета шихтовых материалов была поставлена задача автоматизировать расчет шихтовых материалов для корректировки сплава.

Поставленную задачу можно решить известными математическими методами, разбив ее на два этапа. На первом этапе решается задача точного расчета необходимой добавки химических элементов. На втором этапе подбор добавляемых компонентов для корректировки (подшихтовки) сплава в печи с учетом целевой функции. В дальнейшем рассмотрении не будем различать понятия смеси и сплава.

Введем следующие обозначения:

n – количество различных элементов смеси (по химическому составу);

x_i – масса i -го компонента в первоначальной смеси;

$M = \sum_{i=1}^n x_i$ – масса первоначальной смеси;

$k_i = \frac{x_i}{M}$ – массовая доля i -го элемента в первоначальной смеси;

y_i – масса i -го элемента смеси, необходимого для добавления;

$m = \sum_{i=1}^n y_i$ – масса добавляемых элементов;

$$r_i = \frac{x_i + y_i}{M + m} - \text{массовая доля } i\text{-го элемента в конечной смеси}$$

(требуемый химический состав).

Постановка задачи первого этапа: для известного химического состава первоначальной смеси (массы x_i каждого элемента или его массовой доли k_i и массой M) найти необходимое количество y_i каждого добавляемого элемента смеси для достижения заданного химического состава в конечной смеси (известные массовые доли r_i).

Постановка математической задачи первого этапа: по заданным x_i и r_i найти набор y_i , удовлетворяющий условиям:

$$\begin{cases} \frac{x_i + y_i}{M + m} = r_i, \\ y_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (1)$$

Решение данной задачи существует всегда и содержит одну степень свободы – массу добавляемой смеси m . Выбором этого параметра $m \geq m_0$ (фиксируется только нижняя граница m_0 массы) можно решать разные технологические задачи:

1) Задача о составлении первоначальной смеси заданной массы (расчет шихтового листа). В этом случае все $x_i = 0$, а параметр m имеет смысл массы первоначальной смеси.

2) Задача о подшихтовке – нахождение необходимого для корректировки смеси количества элементов минимальной массы. В этом случае выбираем $m = m_0$.

3) Задача корректировки химического состава смеси с заданной выходной массой. В этом случае параметром m можно регулировать заданное значение массы конечной смеси $m + M$.

Для постановки задачи второго этапа о выборе среди имеющихся в наличии многокомпонентных составов смеси для корректировки химического состава первоначальной смеси (стандартная задача о смесях) введем следующие обозначения:

l – количество различных многокомпонентных добавок;

y_i – масса i -го элемента, необходимого для добавления (известно после решения задачи I этапа);

z_{ij} – массовая доля i -го элемента в составе j -й многокомпонентной добавки, $\sum_{i=1}^n z_{ij} = 1$;

m_j – масса j -й многокомпонентной добавки, необходимой для корректировки, $\sum_{i=1}^l m_j = m$;

m_j^0 – масса имеющейся в наличии j -й многокомпонентной добавки (ограничение);

c_j – коэффициент приоритета использования j -й многокомпонентной добавки.

Постановка задачи: для известного количества элементов смеси найти набор многокомпонентных добавок и их масс для составления данной смеси.

Постановка математической задачи второго этапа: для заданного набора $\{y_i, z_{ij}, c_j\}$, $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, l$ найти такие наборы m_j , $j = 1, 2, \dots, l$, удовлетворяющие условиям:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^l c_j m_j \rightarrow \max \\ \sum_{j=1}^l m_j z_{ij} = y_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \\ 0 \leq m_j \leq m_j^0, \quad j = 1, 2, \dots, l \end{cases} \quad (2)$$

Данная формулировка имеет один из видов задачи о смесях в форме задачи линейного программирования. Методы решения и анализа этой задачи хорошо известны в математике (например, симплекс-метод).

Рассмотрим подробно только смысл коэффициентов c_j целевой функции $\sum_{j=1}^l c_j m_j$ в (2), определяющей оптимальность выбранного набора многокомпонентных добавок. Известно, например, что при переопределенности в условиях связи (последние два условия в (2) при наличии большого количества различных многокомпонентных добавок) решение обладает степенью свободы, позволяющей выбирать между различными наборами многокомпонентных добавок. С помощью выбора коэффициентов c_j приоритета использования многокомпонентных добавок можно ре-

гулировать следующие технологические, логистические, экономические и другие параметры конечной смеси:

1) расход остатков материала на складе (смысл коэффициентов C_j – рейтинг материалов, чем больше значение, тем выше приоритет использования соответствующего материала);

2) рациональное использование возврата – как частный случай предыдущего (для возврата устанавливается наибольший приоритет среди остальных материалов);

3) экономический критерий расходования материала (смысл коэффициента – обратная пропорциональность стоимости соответствующего материала);

4) экологический критерий (например, содержание или образование побочных примесей в составе различных материалов может влиять на значение коэффициентов);

5) технические характеристики конечной смеси (например, физические свойства прогнозируются с помощью расстановки приоритетов использования тех или иных материалов при компоновке добавляемой смеси).

Так как часто требуется учитывать сразу несколько критериев, например экономический, технологический и логистический, то можно предложить следующий способ образования коэффициентов приоритета. Пусть, например, известны значения коэффициентов экономического C_j^E , технологического C_j^T и логистического

C_j^L критериев. Тогда, перемножив их

$$C_j = C_j^E C_j^T C_j^L,$$

получим обобщенный коэффициент приоритета, учитывающий сразу несколько разнонаправленных характеристик.

Таким образом, при решении задачи о корректировке сплава (смеси, химического состава) показано, что неоднозначность решения в математической модели позволяет рассматривать и решать задачи более общего характера как с технологической точки зрения, так и с точки зрения экономической, логистической и др. Предложена методика регулирования выбора компонентов добавляемой смеси для достижения заданного химического состава с помощью коэффициентов приоритета использования материала в целевой функции.

Раздел 3

ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ

УДК 624.742

А.С. Григор, В.А. Марков, А.Ю. Луганский

Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

ФОРМОВОЧНАЯ СМЕСЬ НА ОСНОВЕ РЕЧНОГО ПЕСКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВОК ИЗ ЧУГУНА

В настоящее время литейное производство является основной заготовительной базой для нужд машиностроения. Большую часть отливок из железоуглеродистых сплавов получают в разовых формах с использованием песчано-глинистой смеси (ПГС). Этот способ является наиболее распространенным технологическим процессом в России и за рубежом. Несмотря на использование новых способов и процессов производства отливок в разовые формы, в крупносерийном и массовом производстве до 60–70% отливок изготавливается в разовых формах из песчано-глинистых (бентонитовых) сырых формовочных смесей. И это направление сохранится в будущем, что объясняется тем, что активированные бентониты в составе комплексных добавок в сочетании с высокоточным формовочным и стержневым оборудованием позволяют производить большую номенклатуру отливок по достаточно низкой цене и дает ряд других преимуществ процесса производства отливок в разовые формы:

- недефицитность и низкая стоимость сырья;
- возможность контроля качества отливок подбором необходимых составов формовочных смесей и режимов их уплотнения;
- возможность получать широкую номенклатуру отливок из разнообразных сплавов в условиях от единичного до крупносерийного или массового производства;
- относительно невысокая по сравнению с другими процессами стоимость отливок;
- относительная простота и низкая стоимость оснастки;

- самый короткий технологический цикл получения отливок, близких по конфигурации и размерам к готовой детали.

Немаловажным фактором применения сырой ПГС, для изготовления разовых форм, является возможность многократного ее использования в качестве оборотной смеси при минимальных безвозвратных потерях.

Под оборотной смесью понимается переработанная, выбитая из опок смесь. В процессе переработки смесь освобождается от комьев, металлических включений, пыли и подвергается гомогенизации и охлаждению. Подготовленная таким образом сыпучая масса, основой которой служат зерна кварцевого песка с примесью частиц активной глинистой составляющей и углеродсодержащих добавок, является хорошим исходным материалом для приготовления единых формовочных смесей. Следует отметить, что зерна кварцевого песка в оборотной смеси, будучи подвергнуты тепловой обработке при заливке формы металлом, обладают меньшей по сравнению со свежим кварцевым песком способностью к расширению и растрескиванию, что делает оборотную смесь ценным исходным формовочным материалом.

Известно, что кварцевый песок является основным компонентом ПГС, выполняющим функцию каркаса формовочной смеси. Однако если обратить внимание на состояния поверхностного слоя кварцевого зерна, то можно заметить, что в результате многократного использования смеси в процессе формирования свойств ПГС, а также ввода специальных добавок, на поверхности зерна формируется термостойкая адгезивная оболочка из осколков зерен кварца, частиц активного и шамотизированного глинистого связующего, продуктов термодеструкции углеродсодержащих материалов (УСМ) и их остатков. Таким образом, формирование на поверхности зерен кварца адгезивной оболочки является качественно новым состоянием формовочной смеси. Адгезивная оболочка выполняет функцию барьера между жидким металлом и основой зерна, т.е. непосредственный контакт происходит на границе «оболочка/металл».

В этой связи появилась рабочая гипотеза о замене кварцевого песка в составе ПГС на речной песок. Однако некоторые трудности использования речного песка в литейном производстве вызывает наличие в его составе гидрослюд, имеющей низкую температуру плавления (700–800°C), что может привести к образованию трудноотделимого пригара на поверхности отливки. Решить эту проблему можно, включая в состав ПГС углеродсодер-

жащий материал, имеющий высокую температуру термодеструкции. В качестве такой добавки нами предложено использовать нанодисперсный пироуглерод (НДПУ). НДПУ является конечным продуктом термодеструкции углеродсодержащих материалов, имеет температуру термодеструкции 1400–1600°C и низкий коэффициент термического расширения, не претерпевает объемных превращений до 3600°C и обеспечивает высокое постоянство геометрических размеров формы.

Принципиально важным моментом применения НДПУ в качестве антипригарной добавки является то, что в процессе приготовления формовочной смеси вводится необходимое количество НДПУ, которое при перемешивании распределяется по поверхности всех компонентов формовочной смеси, т.е. на стадии приготовления смеси создаются условия управляемого процесса формирования ее антипригарных и технологических свойств. Имея высокую удельную поверхность (75–82 м²/г), НДПУ требует меньшего расхода для покрытия частиц глинистого связующего формовочной смеси частицами НДПУ. При этом частицы глинистого связующего разделены частицами НДПУ, что очень важно с точки зрения формирования технологических и физико-механических свойств формовочной смеси с восстановлением вяжущих свойств глинистого связующего в процессе оборота смеси [1].

Для эксперимента по использованию речного песка в составе ПГС были приготовлены два состава формовочных смесей на основе карьерного песка марки 5К₃О₃02 с варьируемым содержанием НДПУ от 0 до 1,5% и два состава формовочных смесей на основе речного песка с варьируемым содержанием НДПУ от 0 до 1,5%. В качестве глинистого связующего использовался хакасский бентонит марки П₁Т₁А после термообработки при 300 и 400°C, т.к. бентонит, прокаленный при этой температуре, обладает наибольшей активностью. Это можно объяснить тем, что после прокаливания при температуре до 300°C из бентонита полностью удаляется свободная вода и происходит открытие базальных поверхностей, что и способствует повышению его активности. В качестве эталона были приготовлены два состава формовочных смесей на основе речного и карьерного песков с комплексной добавкой БЛЕСКОЛ-П при различной температуре прокаливания бентонита.

С использованием приготовленных смесей были получены экспериментальные отливки из сплава СЧ-20 толщиной 10, 20 и 30 мм с помощью запатентованной в АлтГТУ технологической пробы [2]. Каждый отпечаток литой поверхности проверяли на специальном устройстве для оценки прочности пригара на отливках [3] путем измерения удельной работы по удалению пригара. Устрой-

ство (рис. 1) состоит из вертикальной трубки 1, на верхнем конце которой закреплена воронка 2 для засыпки дроби. Под нижним концом трубки под изменяемым углом φ в испытательном поддоне 3 размещается экспериментальная отливка 4, находящаяся в емкости 5 без дна для сброса дроби в емкость 6. В исследовании использовалась стальная дробь диаметром 1–1,5 мм. Дробь сыпется до тех пор, пока поверхность отливки не будет очищена от пригара на участке площадью около 1 см². После появления очищенного от пригара участка испытание прекращается, использованная дробь взвешивается и измеряется площадь участка отливки, очищенного от пригара. Внутренний диаметр трубки равен 10 мм, при этом струя дроби компактна и хорошо очищает поверхность отливки. Высота h трубки 1 может варьироваться. При такой высоте удобно загружать дробь в воронку 2, и отработанная дробь не выскакивает за пределы ограждения 5, имеющего высоту 400 мм. Диаметр отверстия воронки равен 7 мм. Воронка 2 жестко закреплена зажимом 7 на стойке 8 с поворотным кронштейном 9, позволяющей управлять струей дроби относительно экспериментальной отливки 4.

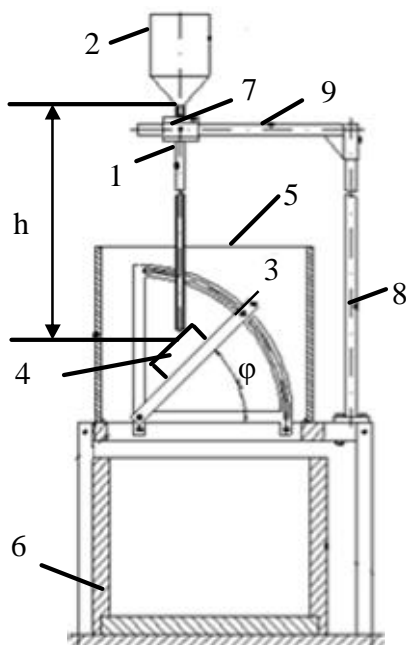


Рис. 1. Схема устройства для количественной оценки пригара

На основе полученных данных были построены графики зависимости удельной работы по удалению пригара от содержания НДПУ в формовочной смеси (рис. 2, 3 и 4).

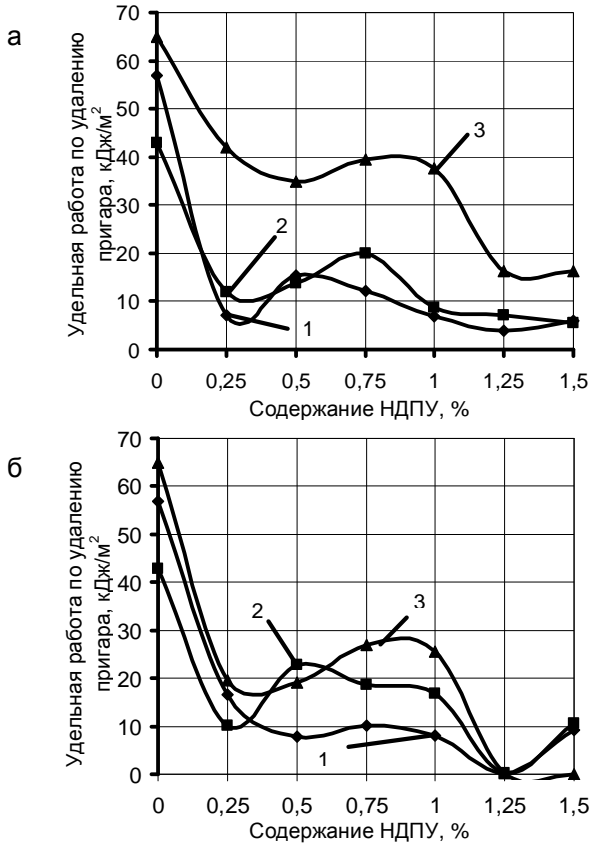


Рис. 2. Зависимость удельной работы по удалению пригара от содержания НДПУ в составе формовочной смеси на основе: а – карьерного песка 5K₃O₃O₂; б – речного песка и бентонита, прокаленного при температуре 300°C, и толщины экспериментальной отливки: 1 – 10 мм; 2 – 20 мм; 3 – 30 мм

Исходя из анализа полученных зависимостей можно отметить, что с увеличением содержания НДПУ в формовочной смеси

наблюдается снижение величины удельной работы по удалению пригара на всех графиках по сравнению со смесью без использования НДПУ. Однако на некоторых отливках в случае применения речного песка (рис. 3,б) пригар отсутствует вовсе, как и в случае применения добавки БЛЕСКОЛ-П на отливках толщиной 10 мм (см. рис. 4).

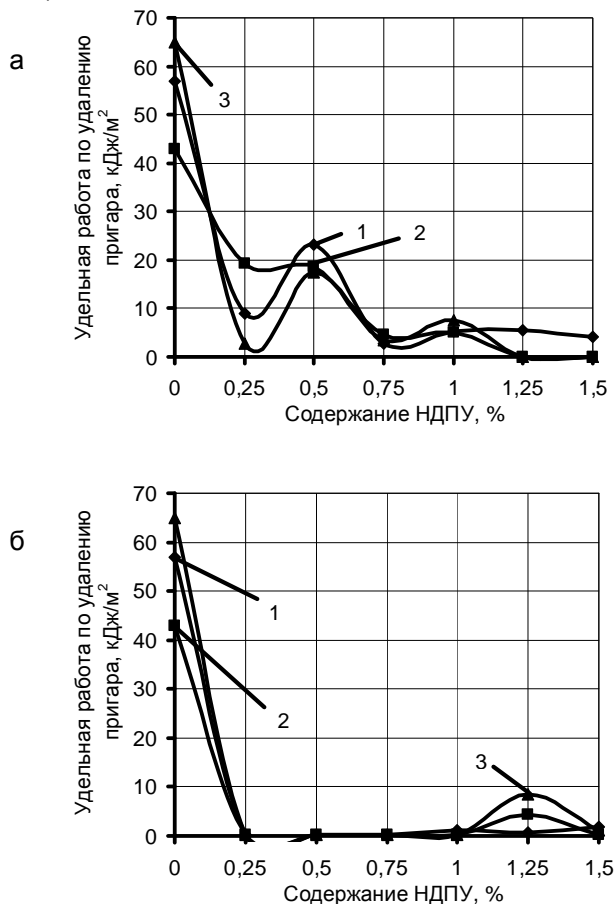


Рис. 3. Зависимость удельной работы по удалению пригара от содержания НДПУ в составе формовочной смеси на основе: а – карьерного песка $5K_3O_3O_2$; б – речного песка и бентонита, прокаленного при температуре $400^{\circ}C$, и толщины экспериментальной отливки: 1 – 10 мм; 2 – 20 мм; 3 – 30 мм

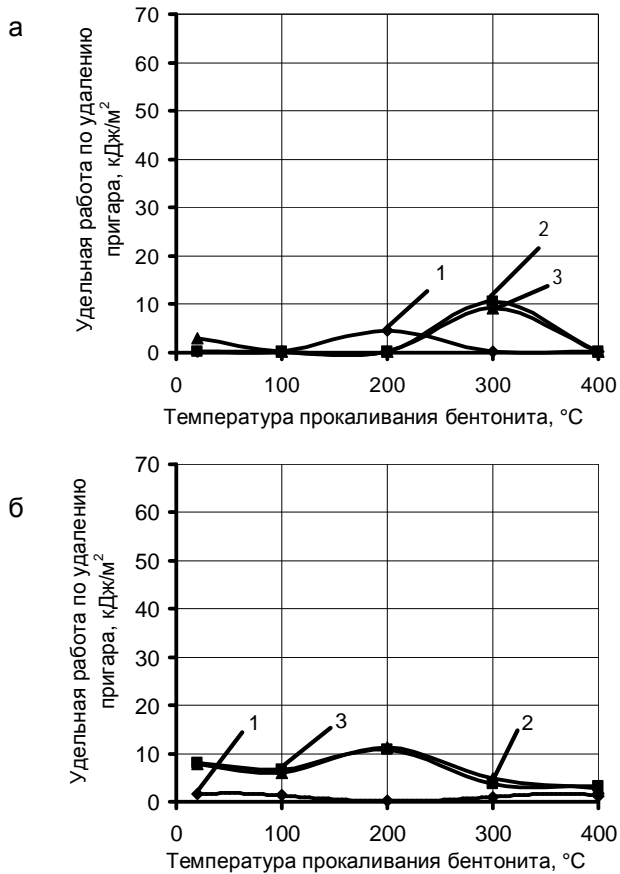


Рис. 4. Зависимость удельной работы по удалению пригара от температуры прокаливания бентонита в составе формовочной смеси на основе:
 а – карьерного песка 5K₃O₃O₂; б – речного песка и комплексной добавки БЛЕСКОЛ-П (5%) и толщины экспериментальной отливки:
 1 – 10 мм; 2 – 20 мм; 3 – 30 мм

Это можно объяснить тем, что в процесс приготовления формовочной смеси происходит формирование на поверхности зерна под действием рабочих органов смесеприготовительного оборудования адгезивной оболочки с включениями бентонита и

гидрослюд, покрытых наноразмерными частицами НДПУ. При заливке формы расплавленным металлом происходит расплавление гидрослюды, но, т.к. она покрыта частицами НДПУ, которые препятствуют доступу жидкого металла к продуктам терморазложения гидрослюды, это препятствует образованию пригара.

В целом литая поверхность, полученная с использованием добавки БЛЕСКОЛ-П, во всех случаях имеет легко отделимый пригар и низкую шероховатость, но в некоторых случаях на поверхности отливок встречались небольшие газовые раковины. Это можно объяснить тем, что добавка БЛЕСКОЛ-П приготовлена на основе молотого угля, который имеет более высокую газотворность, чем НДПУ. Однако, если обратить внимание на состояние литой поверхности, полученной с использованием НДПУ, то при применении смесей на основе речного песка поверхность получается несколько хуже, чем при использовании аналогичных смесей на основе традиционных карьерных песков. Помимо того, что литая поверхность, полученная с использованием речного песка и НДПУ, получается с легко отделимым пригаром, но с несколько большей шероховатостью.

Из вышеизложенного можно резюмировать, что применение речного песка в литейном производстве для основы формовочных смесей целесообразно с экономической точки зрения, т.к. цена на речной песок значительно ниже, чем на традиционный карьерный. Но, с другой стороны, из-за высокой шероховатости применение ПГС на основе речного песка возможно для производства отливок из чугуна с минимальными требованиями к шероховатости литой поверхности.

Библиографический список

1. Экологические аспекты выбора углеродсодержащих материалов для формовочных смесей при литье чугуна / В.А. Марков, А.С. Григор, Ю.Н. Антупьев // *Литейное производство*. 2010. №1. С.27-30.
2. Пат. 77809 РФ, МПК В 22 С 9/22. Технологическая проба для оценки влияния материалов литейной формы на формирование шероховатости поверхности отливок и вероятность образования пригара / В.А. Марков, А.С. Григор, М.В. Миронова, А.М. Иванов, И.Н. Антипов, Е.В. Маркова; заявитель и патентообладатель Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. № 2008125476/22; заяв. 23.06.08; опубл. 23.11.08. Бюл. № 31. 2 с.

3. Оценка прочности пригара на отливках / В.А. Марков, А.С. Григор, А.Ю. Луганский // Материалы 8-й Всерос. науч.-практ. конф. «Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе». Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. С.39-41.

УДК 621.74

О.В. Ивочкина, Л.Г. Знаменский, А.С. Варламов, С.С. Верцюх
Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

ПРОГРЕССИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ХУДОЖЕСТВЕННОГО ЛИТЬЯ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Спецификой художественного литья является необходимость точного воспроизведения тонкорельефных контуров модели. Такую возможность дает литье по выплавляемым моделям (ЛВМ). На сегодняшний день в ЛВМ при производстве художественных изделий наибольшее распространение нашли объемные формы из наливных смесей на гипсовом связующем и оболочковые формы на основе гидролизованного раствора этилсиликата (ЭТС).

Однако первые не позволяют получать отливки из черных сплавов с высокой температурой заливки. Гипс неустойчив при температурах выше 1200°C, а железо и кремнезем являются катализаторами его разложения, поэтому при заливке, например чугуна в гипсокремнеземистые формы, гипс разлагается с выделением газообразных продуктов реакции (SO_3 , SO_2), которые поражают отливки газовыми раковинами по всей поверхности.

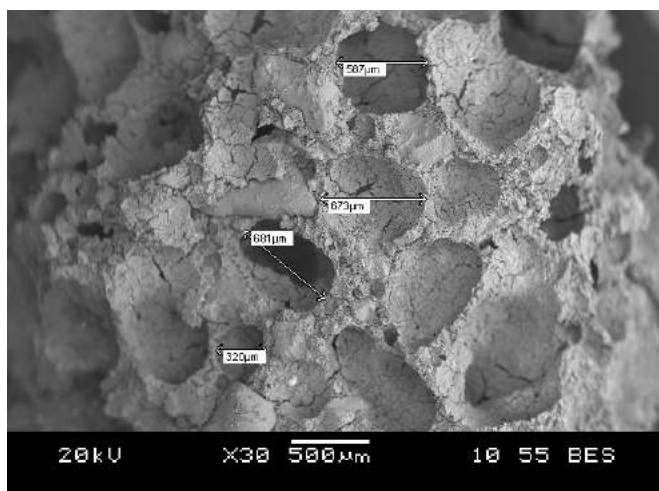
Этилсиликатные керамические формы обеспечивают требуемое качество отливок, но их производство характеризуется длительным циклом формообразования, повышенной трудоемкостью, применением дорогостоящей оснастки, пожароопасностью и ухудшением экологической обстановки в цехе.

В связи с этим очевидна необходимость создания такого состава и способа приготовления наливной самотвердеющей смеси, которые обеспечивали бы ускоренный цикл формообразования, достаточную газопроницаемость, повышенные прочность и трещи-

ноустойчивость керамических форм и стержней при прокатке, их легкую выбиваемость, необходимые для улучшения качества изготовления литьем по выплавляемым моделям сложнопрофильных и тонкорельефных отливок.

Указанным требованиям отвечает наливная самотвердеющая смесь на основе водного раствора алюмоборфосфатного концентрата (АБФК), как связующего, и мелкодисперсного кварцевого песка в качестве основного компонента наполнителя. Для ускорения формообразования (20–30 мин) и исключения сушки изготавливаемых форм и стержней используется химическое затвердевание смеси за счет введения отвердителя к АБФК (периклаза). При этом варьирование количества периклаза в смеси позволяет регулировать продолжительность ее затвердевания.

Кроме того, в процессе химического взаимодействия продуктов гидролиза АБФК в водной среде с железом, являющимся примесью мелкодисперсного кварцевого песка, выделяется водород. Этот процесс, протекающий на границе «связующее–наполнитель», и химическое затвердевание смеси обеспечивают формирование равномерной пористой структуры керамических форм и стержней. Такая структура создает условия для повышения их газопроницаемости. Это иллюстрируется рисунком, на котором представлена структура излома формы, снятая на электронном растровом низковакуумном микроскопе JEOL JSM 6460LV с волновым анализатором.



Структура излома керамической формы

Для повышения трещиностойчивости форм, в том числе при прокалке, в состав предложенной смеси необходимо добавить высокопористый материал – керамзит (ГОСТ 9757-90), который создает своеобразный барьер, блокирующий возникновение и развитие трещин.

В таблице приведены характеристики разработанной смеси в сравнении с наливной формовочной массой на гипсовом связующем*.

Результаты испытаний смесей

Показатель	Смесь на гипсовом связующем	Смесь на АБФК
Продолжительность затвердевания, мин	18–25	10–15
Текучесть, мм	140–150	160–170
Газопроницаемость, ед.	1–2	3–5
Прочность после выдержки на воздухе, МПа:		
1 ч	0,15–0,5	0,5–0,92
24 ч	1,9–2,2	5,0–6,6
Выбиваемость (остаточная прочность), МПа	0,35–0,4	0,1–0,3
СОТ, см ² /кг	12–18	0

Для исключения вероятности появления поверхностных дефектов на отливках в виде наростов и наплывов из-за адсорбции пузырьков воздуха на поверхности выплавляемых моделей, а также с целью регулирования степени насыщения суспензии газовыми включениями и, следовательно, пористости получаемой в дальнейшем формы предложено использование вакуумно-ультразвуковой обработки разработанной смеси. Одновременное использование вакуума и ультразвука создаёт условие для быстрой дегазации даже высоких форм. Кроме того, имеющие место акустические течения обеспечивают вывод пузырьков из поднутрений и «карманов» сложнопрофильных, тонкорельефных моделей художественных отливок.

* Точное формообразование в художественном литье / Л.Г. Знаменский, В.К. Дубровин, И.Н. Ермаков, О.В. Ивочкина // Литейное производство. 2001. № 1. С. 32.

Учитывая улучшенный комплекс полученных технологических свойств смеси, ее универсальный характер, разработанная технология изготовления керамических форм и стержней может быть использована не только в художественном, но и в техническом точном литье из различных сплавов (бронза, латунь, чугун, сталь и др.).

УДК 621.746.628.4

**А.С. Савинов, А.С. Тубольцева, О.А. Осипова,
Д.Я. Дьяченко, О.В. Савинкина**
Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И.Носова

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗНОСТНЫХ СХЕМ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ СЫРОЙ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТОЙ ФОРМЫ

Расчет напряженного состояния литой детали при кристаллизации и охлаждении в сырой песчано-глинистой форме (ПГФ) осложнен процессами, происходящими под воздействием теплового потока отливки. А именно миграцией влаги по сечению слоя формы, изменением теплофизических и механических характеристик формы, температурным расширением компонентных составляющих и др. Следует отметить, что под воздействием температуры существенно изменяются деформационные характеристики смеси, что на прямую отражается на усадочных напряжениях охлаждающейся отливки. Расчет теплового состояния литейной формы является актуальной задачей при решении проблем, связанных с трещиностойкостью литой детали.

Расчет теплового поля сырой ПГФ вели по адаптированной разностной схеме, принцип получения которой детально описан в источнике [1].

Суть данного метода заключается в том, что непрерывная область изменения пространственной переменной $0 \leq x \leq \delta$ заменяется конечной совокупностью дискретно расположенных узловых

точек $x_0, x_1, \dots, x_{n-1}, x_n$. При равномерном расположении точек на отрезке $[0, \delta]$ их координаты равны $x_i = (i) \Delta x$ при $i=0, \dots, n$, где расстояние между соседними точками (шаг по координате) – $\Delta x = \delta/n$. Аналогичным образом вместо непрерывного изменения температурного поля во времени рассматриваются значения температуры в фиксированные моменты времени $t_k = k\Delta t$, $k = 0, 1, \dots$, где Δt – интервал между двумя последовательными моментами времени (шаг по времени).

Решение линейной одномерной задачи теплопроводности методом баланса дает нам следующие выражения для моделирования теплового поля по сечению формы:

$$T_i^{k+1} = (fT_{i-1}^k + (1-2f)T_i^k + fT_{i+1}^k) + \frac{G(U_i^{k+1} - U_i^k)}{100}, i = 1, \dots, n-1, \quad (1)$$

где T_i^{k+1} – температура i -го слоя в текущий момент времени, К;
 T_i^k – температура i -го слоя в предыдущий момент времени, К;
 U_i – значение влажности в i -м слое, %;
 G – теплота парообразования воды, Дж/м³.

Изменение температуры в граничном слое форма-среда

$$T_n^{k+1} = (2fT_{n-1}^k + [1-2f(1+b)]T_n^k + 2fbT_0) + \frac{G(U_n^{k+1} - U_n^k)}{100}. \quad (2)$$

Значения f и b в данных формулах выражается следующими уравнениями:

$$f = \frac{\lambda \Delta t}{c_i \Delta x^2}; \quad b = \frac{\alpha \Delta x}{\lambda},$$

где λ – теплопроводность слоя, Вт/м²К;
 c_i – объемная теплоемкость слоя, Дж/м³К;
 ρ_i – плотность слоя формы, кг/м³;
 α – коэффициент теплоотдачи, Вт/м²К.

Коэффициент теплоотдачи α найдем, используя формулу Стефана-Больцмана:

$$\alpha = \frac{\varepsilon' \sigma_0 \left[\left(\frac{T_n^k}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_0}{100} \right)^4 \right]}{T_n^k - T_0} + \alpha_{\text{конв}}, \quad (3)$$

где ε' – степень черноты поверхности тела;
 σ_0 – постоянная Стефана-Больцмана (5,67);
 T_o – температура окружающей среды, К;
 $\alpha_{\text{конв}}$ – конвективная теплоотдача, Вт/(м²·К).

При расчете требуется учитывать условие сходимости разностной схемы, выраженное следующей формулой [1]:

$$f \leq \frac{1}{2(1+b)}. \quad (4)$$

Поскольку явная разностная схема аппроксимирует исходную задачу теплопроводности, выполнение условия устойчивости гарантирует ее сходимость.

В частном случае, при расчете сухой ПГФ, слагаемое $\frac{G(U_i^{k+1} - U_i^k)}{100}$ приравнивается к нулю.

При расчете учитываем изменение теплоемкости слоя литейной формы в результате температурного воздействия и влажности формовочной смеси.

Удельная теплоемкость многокомпонентной системы подчиняется закону аддитивности, тогда до начала заливки она может быть выражена следующей формулой:

$$c' = \rho_{\text{сух}} \frac{U_0}{100} C_{\text{воды}} + \rho_{\text{сух}} C_{\text{SiO}_2}, \quad (5)$$

где $\rho_{\text{сух}}$ – плотность сухого слоя формы, кг/м³;

U_0 – начальная влажность формы, %;

C_{SiO_2} , $C_{\text{воды}}$ – теплоемкость оксида кремния и воды соответственно, Дж/кгК.

Плотность сухого слоя формы может быть выражена следующим образом:

$$\rho_{\text{сух}} = \rho_{\text{форм}} \left(1 - \frac{U_0}{100} \right), \quad (6)$$

где $\rho_{\text{форм}}$ – начальная плотность формы, кг/м³.

Для увеличения точности расчета учтем температурное изменение теплоемкости основного компонента ПГФ – оксида кремния [2]:

$$C_{SiO_2} = \left(56,06 + 15,42 \cdot T10^{-3} - 14,46 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{T} \right) \frac{1000}{M_{SiO_2}}; \quad (7)$$

$$C_{SiO_2} = \left(57,15 + 11,06 \cdot T10^{-3} \right) \frac{1000}{M_{SiO_2}}, \quad (8)$$

где M_{SiO_2} – молярная масса оксида кремния, г/моль.

Выражение (7) соответствует стекловидному состоянию кварца и (8) – с кристаллической структурой β -тридимит. Отличие теплоемкости, рассчитанной по данным формулам, дает нам разницу в 4,8%. А следовательно, в первом приближении любая из этих формул может быть использована в моделировании теплового поля формы даже при оплавлении ее граничных слоев.

Таким образом, учитывая формулы (5)-(8), при расчете значения f теплоемкость слоя формы в текущий $k+1$ момент времени может быть найдена следующим образом:

$$\left(c_i^{k+1} \right)' = \rho_{\text{сух}} \frac{U_i^k}{100} C_{\text{воды}} + \rho_{\text{сух}} \left(\left(57,15 + 11,06 \cdot T10^{-3} \right) \frac{1000}{M_{SiO_2}} \right), \quad (9)$$

где U_i – влажность i – го слоя формы, %.

В расчете температурного поля сырой ПГФ воспользуемся следующим условием: при достижении i -м слоем формы в k -й момент времени температуры $T_{\text{усл}} = 373$ К слой считаем сухим. Аналогичное допущение использовалось в работах [3, 4].

Зная толщину высушенного слоя $X_{\text{сух}}^{\text{иском}} = \frac{\delta}{n} i$, $i=0, \dots, n$, не-

трудно найти распределение влажности в смеси (в работе использовалась методика, описанная в [5]). При этом значение влажности принимали средним в каждом слое формы.

Конечное поле влажности рассчитаем из следующих условий. Пусть в период между k -м и $k+j$ моментом времени, по достижении $i+1$ слоем температуры $T_{\text{усл}}$, произведено j итераций. Тогда в рассматриваемом временном интервале толщина высушенного слоя будет равна

$$x_{сух}^{иском} = \frac{\delta}{n} i + \frac{\delta s}{nj}, s = 0, \dots, j. \quad (10)$$

Откуда нетрудно рассчитать динамику изменения влажности во всем рассматриваемом периоде.

Предположение о линейном распространении сухого слоя в i -м слое принимается из тех соображений, что для повышения точности расчета разностных схем производится минимизация временных и пространственных интервалов, т.е. $\frac{\delta}{n} \rightarrow 0$.

Представленная методика расчета была применена для моделирования движения фронта влажности в сырой ПГФ [6] и показала удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных данных.

Библиографический список

1. Арутюнов В.А., Бухмиров В.В., Крупенников С.А. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей: учебник для вузов. М.: Металлургия, 1990. 239 с.
2. Физико-химические свойства окислов: справочник / под ред. Г.В. Самсонова. М.: Металлургия, 1978. 320 с.
3. Вейник А.И. Термодинамика литейной формы. М.: Машиностроение, 1968.
4. Аксенов П.Н., Трухов А.П. Аналитический расчет зоны конденсации в литейной форме// Литейное производство. 1972. №5. С.19-21.
5. Математическое моделирование процесса конденсации в литейной форме при кристаллизации и охлаждении стенки отливки/ А.С. Савинов, Ф.Г. Ибрагимов, А.С. Тубольцева. М., 2009. 14 с. Деп. в ВИНТИ 10.03.09, №122 - В2009.
6. Экспериментальное определение динамики движения фронта влажности в сырой песчано-глинистой форме/ Савинов А.С., Тубольцева А.С., Савинкина О.В., Решетникова С.В., Немков Д.С. // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. Вып. 9. С. 106 – 110.

УДК 621.742

В.А. Марков, А.С. Григор, А.Ю. Луганский

Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОСТИ БЕНТОНИТА С ДОБАВКАМИ НАНОДИСПЕРСНОГО ПИРОУГЛЕРОДА КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

При производстве отливок из чугуна в качестве антипригарных добавок широкое распространение получили углеродсодержащие материалы (УСМ). Среди них: молотый гранулированный уголь, мазут, отходы химических производств, переработки древесины и т.п. Однако при их термодеструкции в атмосферу цеха выделяется широкий спектр экологически вредных продуктов (метанол, бензол, ксилол, фенол, нафталин, фенатрен, антрацен и другие полициклические ароматические углеводороды), которые частично конденсируются в формовочной смеси, частично сгорают, а также выделяются в окружающую среду [1]. Помимо этого при термодеструкции УСМ выделяются газы полиароматических углеводородов, сернистых соединений и других примесей, конденсирующихся в слоях формы, оказывая гидрофобное воздействие на связующую способность бентонита, его водопоглощение и коллоидные свойства.

В целях улучшения экологической обстановки, уменьшения дезактивирующего действия продуктов термодеструкции УСМ на бентонит, а также экономии УСМ целесообразно использовать в качестве антипригарной добавки нанодисперсный пироуглерод (НДПУ), который представляет собой нанодисперсный порошкообразный – конечный продукт термоокислительного разложения углеводородного сырья. По степени упорядоченности структуры НДПУ занимает среднее положение между кристаллическим графитом и аморфным углеродом [2]. За счет неупорядоченности структуры решетки атомы углерода, находящиеся на краях плоскостей, имеют свободные валентности, позволяющие присоединить к ним атомы углерода других кристаллитов, а также атомы водорода, кислорода; присоединять молекулы с ненасыщенными связями, адсорбировать газы и жидкости или адсорбироваться на по-

верхностях других материалов. Эта особенность НДПУ имеет принципиальное значение при использовании его в составе ПГС, так как он изменяет механизм взаимодействия компонентов смеси между собой. НДПУ содержит: 89–99% С; 0,3–0,5% Н; 0,1–10% О; 0,1–1,1% S; до 0,5% минеральных примесей. Средний диаметр частиц НДПУ марки П-324 и N-330 – 24–32 нм, активная поверхность частиц 75–82 м²/г. Также НДПУ имеет большую термостойкость и при воздействии высоких температур не выделяет в атмосферу вредных веществ.

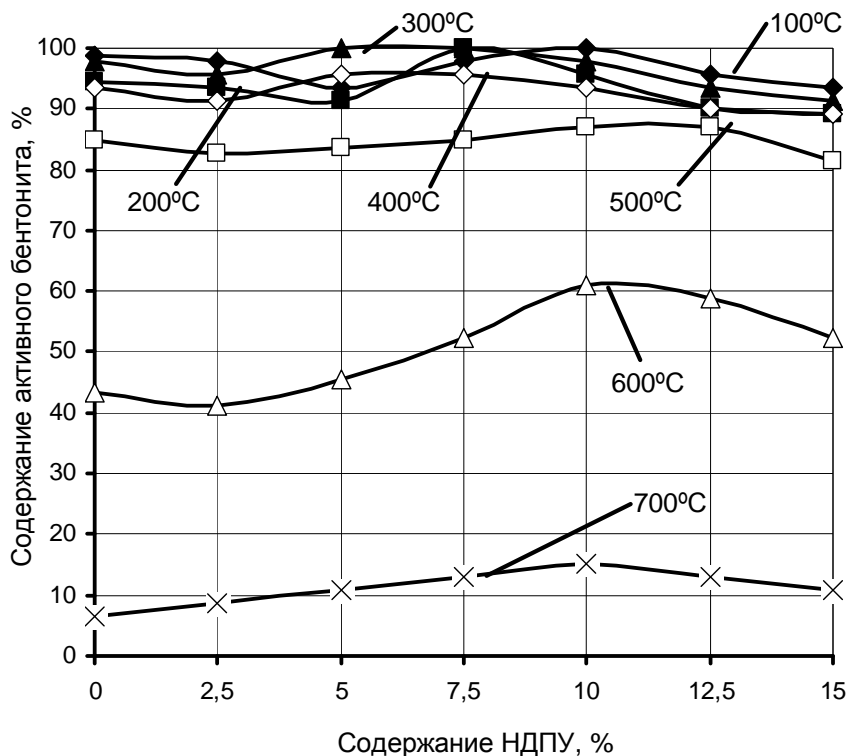


Рис. 1. Содержание активного бентонита в композиции бентонита и НДПУ в зависимости от температуры прокалывания и содержания НДПУ

На рис. 1 представлена зависимость изменения содержания активного бентонита в композиции бентонита с НДПУ в зависимо-

сти от температуры прокаливания и содержания НДПУ. Содержание активного бентонита определяли согласно ГОСТ 23409.14-78. Данный метод основан на свойстве активного бентонита адсорбировать краситель метиленовый голубой.

Исходя из полученных результатов следует, что в интервале температур 100-400°C активность бентонита практически не изменяется. Данное явление можно объяснить увеличением удельной поверхности зерен бентонита за счет изменения расстояния между частицами глинистого вещества. Таким образом, небольшая потеря активных связей при прокаливании на поверхности частиц бентонита компенсируется внутренними связями, которые образуются при удалении свободной и межпакетной воды.

Интервал температур 500-700°C соответствует процессу потери бентонитом кристаллизационной и конституционной воды [3]. Если при 500°C для всех образцов наблюдается снижение активности бентонита на 10-15%, то в результате прокаливания при 600°C происходит интенсификация процесса, и потери активности составляют 22-40%. Завершение процесса удаления конституционной воды при 700°C приводит к потере бентонитом активности на 85-93%. После прокаливания при 800°C бентонит ни в одном из образцов практически не проявляет активность, что связано с шмотизацией бентонита.

В данной работе предлагается определение активности формовочных материалов кондуктометрическим методом. Метод основан на измерении электропроводности в процессе гидратации водной суспензии исследуемого материала в дистиллированной воде, заключенной между двумя зафиксированными электродами неизменной площади при стабилизированном напряжении и комнатной температуре с фиксацией показаний после 10 мин гидратации. Под гидратацией понимается результат процесса взаимодействия растворенного вещества и растворителя, приводящий ко многим эффектам (изменение электропроводности, температуры и др.) [4]. Результаты измерения оценивают по построенному для данного материала графику [5].

При сравнении результатов экспериментов по определению активности композиции бентонита и НДПУ представленными методами можно заметить, что в отличие от известного стандартного метода основанного на измерении количества адсорбированного красителя метиленового голубого, кондуктометрический метод основан на измерении электрического тока, протекающего через суспензию исследуемого формовочного материала, в зависимости от

его количества или содержания активирующих добавок в его составе количество обменных катионов становится больше и изменение содержания определяет их способность к перемещению и соответственно к изменению электропроводности.

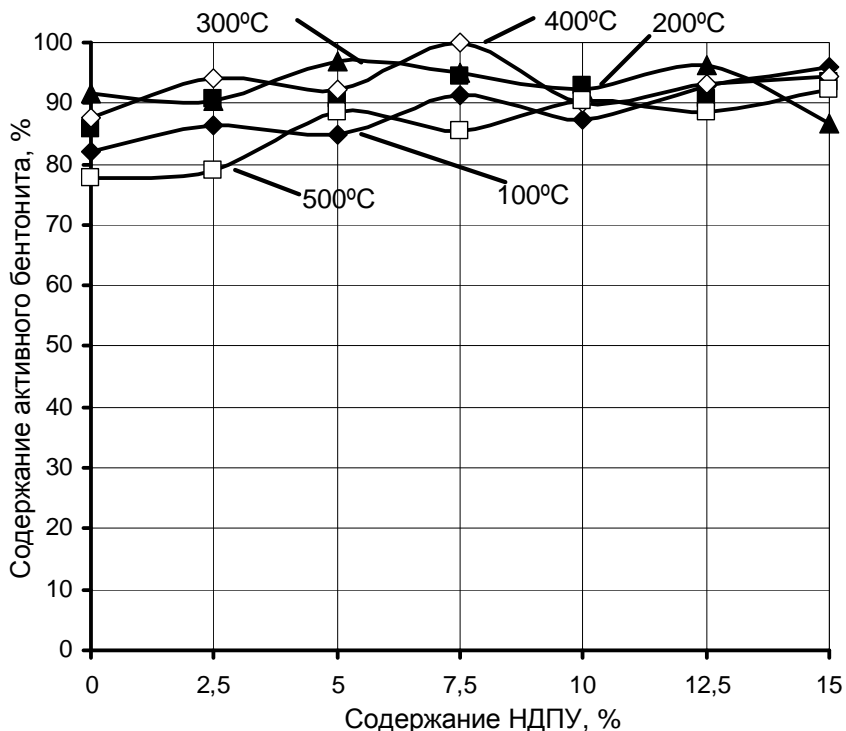


Рис. 2. Содержание активного бентонита в композиции бентонита и НДПУ в зависимости от температуры прокаливания и содержания НДПУ

Результаты исследования содержания активного бентонита кондуктометрическим методом во многом соответствует результатам определения активного бентонита известным стандартным способом. Активность бентонита в интервале температур 100-400°C имеет незначительные отличия друг от друга при исследовании представленными способами. При температуре прокаливания 500°C наблюдается снижение активности исследуемой компо-

зиции на 5-10% при определении активности кондуктометрическим способом.

Резюмируя вышеизложенное, следует отметить, что активный бентонит содержится в формовочной смеси при температуре прогрева литейной формы до 500°C, т.е. в слоях, прилегающих к отливке на 30–50 мм. В слоях литейной формы, непосредственно прилегающих к отливке, температура может достигать 1000°C, при которой бентонит полностью теряет свои связующие свойства. Поэтому необходимы способы контроля активного бентонита не только в отдельных навесках связующего, но и непосредственно в составе формовочной смеси. В этом случае кондуктометрический метод является достаточно эффективным [6].

Библиографический список

1. Экологические аспекты выбора углеродсодержащих материалов для формовочных смесей при литье чугуна / В.А. Марков, А.С. Григор, Ю.Н. Антуфьев // Литейное производство. 2010. №1. С.27-30.
2. Влияние нанодисперсного пироуглерода в составе формовочной смеси на качество отливок / В.А. Марков, А.С. Григор, М.В. Миронова, Ю.Н. Антуфьев // Ползуновский альманах. 2008. № 3. С.169-170.
3. Степанов Ю.А., Семенов В.И. Формовочные материалы. М.: Машиностроение, 1969. 157 с.
4. Самойлов О.Я. Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 182 с.
5. Кондуктометрический метод определения активности бентонита после термической обработки / В.А. Марков, А.С. Григор, А.Ю. Луганский // Проблемы и перспективы развития литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производств: сб. науч. тр. Вып. 5. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2009. С.53-55.
6. Марков В.А., Григор А.С. Анализ развития процессов дезагрегации и механоактивации оборотной смеси // Литейное производство. 2010. №4. С.21-24.

УДК 621.74

Г.Е. ЛевшинАлтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул**О ПРИГОТОВЛЕНИИ ВОДНЫХ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ СМЕСЕЙ
ИЗ СВЕЖИХ МАТЕРИАЛОВ**

В сырых, подсушиваемых и сухих песчано-глинистых формах (ПГФ) изготавливают до 70% (по массе) всех отливок из черных и цветных сплавов [1]. Из них почти половину – в сырых ПГФ, причем из черных сплавов в основном массой до 250–500 кг в массовом и крупносерийном производстве, а иногда до 1–2 т – в единичном [1, 2]. С увеличением массы и толщины отливки возрастает необходимость применения облицовочной смеси из свежих формовочных материалов. К тому же форма из облицовочной и наполнительной смесей дешевле, чем из единой. Эти формы появились в 14 веке н. э. и относятся ко второму поколению литейных форм, прочность которых обеспечивается адгезионными связями частиц глины с песчинками и когезионными связями частиц глины между собой, а также внутренним трением связного сыпучего тела, каким является материал ПГФ. Эти связи и трение обусловлены молекулярными силами, имеющими электрическую природу [3].

Для изготовления ПГФ изначально использовали природные кварцевые пески с необходимым содержанием глины, частицы которой уже довольно равномерно распределены природой по поверхности песчинок и между ними, а литейный цех (мастерскую) устраивали на месторождении такого песка. Отсюда и название «формовочная земля». Этот песок смешивали с водой и получали простейшую естественную песчано-глинистую смесь (ПГС). Она имеет пониженную огнеупорность, газопроницаемость и чувствительна к переуплотнению, рекомендуется для отливок из черных (массой до 200 кг) и цветных сплавов [4]. Аналогичную синтетическую ПГС получают искусственно смешиванием малоглинистого песка с глиной и водой. При этом глину можно вводить в виде порошка, пасты или суспензии. Синтетические смеси относятся к пластично-вязким, обладают хорошей формуемостью и способностью долго сохранять после удаления модели ее отпечаток, менее

чувствительны к переуплотнению и позволяют регулировать в широких пределах главнейшие технологические и служебные свойства ПГФ [4].

Промежуточное положение занимают единые и наполнительные смеси, состоящие в основном из подготовленной оборотной смеси с небольшими добавками свежих песка, глины и воды. При этом в оборотной смеси (в отличие от природных глинистых песков) на песчинках уже имеется влажная глинистая оболочка. Поэтому оборотную смесь можно рассматривать как полуфабрикат.

При приготовлении простейшей трехкомпонентной ПГС ее свежие компоненты дозируют с необходимой точностью, вводят в смеситель в определенной последовательности, смешивают их по мере поступления для получения смеси с заданными на данном этапе свойствами. При этом желательно максимально равномерно распределить глину и воду в макро- и микрообъемах смеси и довести смесь до требуемой прочности, газопроницаемости и уплотняемости. Приготовленную смесь вылеживают и разрыхляют [4–8].

О последовательности ввода компонентов не выявлены четко обоснованные рекомендации в доступной литературе. Так, по мнению авторов [4, 5], на первой стадии связывания необходимо создать на поверхности песчинок электрический отрицательно заряженный слой – слой жесткой воды. Поэтому в смеситель с вертикальными катками («бегуны») сначала вводят воду в сухой песок, а затем порошковую глину, которая при перемешивании образует гель вокруг песчинок и создает условия для более прочного их связывания. При этом глинисто-водная оболочка на песчинках формируется интенсивнее путем налипания частиц глины на их увлажненную поверхность, что сокращает период агрегатирования частиц в комочки. При другой (регламентированной ГОСТ) последовательности песок + глинопорошок + вода, по мнению автора [4] «–может произойти во время смешивания песка и глины их расслоение, т.к. агрегаты глины не разрушаются, а добавка воды препятствует образованию геля». К тому же смачивание, водопоглощение и набухание запаздывают и технологическая готовность смеси затягивается во времени.

Однако в центробежные маятниковые смесители с горизонтальными катками мод. 115, 116 и др. сначала подают воду, потом песок и позднее порошковую глину [4]. Это позволяет наряду с высокой скоростью вращения катков и плужков ускорить перемешивание компонентов без заметного ухудшения качества смесей.

Глинистую суспензию и пасту также целесообразно вводить перед песком. При вводе паста + малоглинистый песок глина уже находится в набухшем состоянии и при перемешивании диспергируется песчинками и распределяется между ними, образуя адгезионную оболочку.

В других смесителях суспензию чаще вводят после песка, а пасту до подачи песка. Последовательность ввода пасты и суспензии, их консистенция могут влиять на длительность и другие параметры процесса и качество смеси. Так, при вводе суспензии или пасты до подачи песка они распределяются по рабочей поверхности смесителя и его рабочих органов, что сразу же увеличивает поверхность контакта с поступающими затем в смеситель песчинками и ускоряет перемешивание. При такой подаче воды и суспензии необходимо предотвратить их вытекание из смесителя.

При вводе суспензии в песок трудно распределить ее равномерно по изменяемой поверхности песка, что переувлажняет отдельные его объемы и увеличивает время перемешивания из-за необходимости перераспределения суспензии в более сухие и малоглинистые объемы. Эти недостатки еще более усугубляются при таком вводе пасты. К тому же она нередко остается в смеси и в виде комочков размером до 5 мм.

При использовании среднеглинистого (до 12% глины) песка учитывают содержание влаги в глине, уже находящейся в песке, и ее состояние (набухшее или высушенное). Эта глина уже равномерно распределена между песчинками и если находится в набухшем состоянии, то образует адгезионные оболочки на песчинках. В этих случаях быстрее достигается технологическая готовность смеси.

Формирование свойств смеси при перемешивании является сложным процессом, основанным на электростатическом взаимодействии отдельных составляющих смеси и состоящим из двух этапов:

- создания предварительных электростатических связей между компонентами смеси при полном усреднении ее состава;
- упрочнения этих связей сокращением расстояния между частицами отдельных составляющих в присутствии воды и их активизацией при механическом истирании частиц песка и глины в результате взаимодействия их между собой и с рабочими органами и корпусом смесителя [4].

В появлении этих связей определенную роль играет трибоэлектричество [5]. Так, при трении двух диэлектриков (например,

сухих песка и глины) положительно заряжается диэлектрик с большей относительной диэлектрической проницаемостью ϵ_r [11]. У жидких диэлектриков положительный заряд приобретает вещество с большими ϵ_r или поверхностным натяжением. Металлы при трении о диэлектрик электризуются как положительно, так и отрицательно за счет перехода электронов в диэлектрик. Электризация трущихся тел тем больше, чем больше их поверхность. Для справки: ϵ_r чистой воды – 81, кварца – 4,52–4,63, сухой глины – до 8,1 [11]. Предполагаемые в работе [12] пиро- и пьезоэффекты на кварцевых поликристаллических песчинках не происходят, т. к. их наблюдают только на монокристаллах α -кварца [11].

Общим в перемешивании независимо от последовательности ввода, вида и свойств упомянутых компонентов смеси является, на наш взгляд, следующее.

1. Взаимное перемещение песчинок, частиц глины и микрообъемов воды под силовым воздействием рабочих органов смесителя и собственным весом. При этом:

– песчинки воздействуют механически друг на друга и частицы глины, вызывая измельчение сухих и влажных глинистых частиц с образованием ювенильных поверхностей и, возможно, отделение с поверхности песчинок приставших примесей;

– вода смачивает песчинки и сухие частички глины, в т.ч. путем фильтрации со скоростью до 1 мм/с;

– глинистые частицы распределяются наиболее равномерно между песчинками и образуют на песчинках адгезионную оболочку толщиной 10–30 мкм в виде пасты (геля) с содержанием воды $\leq 50\%$ и очень высокой вязкостью. Из-за высокой вязкости пасты увеличивается (по сравнению с другими жидкими связующими) сопротивление сдвиговому перемещению вышеперечисленных ингредиентов, а также микро- и макрообъемов смеси, оцениваемое по закону Кулона для связанных сыпучих тел [13].

2. Характер протекающих в смеси физико-химических превращений и ее свойства зависят не от абсолютного содержания воды, а от ее состояния: конституционная, кристаллизационная, цеолитная, адсорбированная, капиллярная. Отмечено [4], что изменение влажности смесей влечет за собой непропорциональное изменение их свойств. Так, для обеспечения формуемости смеси главное значение имеет капиллярная вода, т.к. с ее появлением и увеличением содержания смесь быстрее набирает прочность и превращается в формуемую массу. Максимально допустимая по формуемости влажность смесей устанавливается по максималь-

ному содержанию капиллярной воды в водно-глинистом связующем. Для ПГС с 7% активного бентонита допустимая влажность составляет 6,7% (в т. ч. до 1,7% – конституционная вода, остальное – капиллярная). Для ПГС с 12% каолининовой глины допустимая влажность достигает 7,2% (в т.ч. до 0,5% конституционной воды, а остальное – капиллярная). При превышении этих влагосодержаний в смеси развивается прилипаемость, комковатость, снижается прочность и формуемость.

3. Вода в ПГС смачивает песчинки и частицы глины, раздвигает комплексы частиц и отдельные частицы на расстояния, величина которых определяется соотношением влажности смеси и смоченной удельной поверхностью; образуя мениски на стыках частиц, вода развивает капиллярное давление, стягивающее частицы в компактную массу; а являясь носителем диффузионных ионов, способствует ионообмену на поверхности глинистых частиц, что приводит к изменению их электростатического взаимодействия. Это многообразное взаимодействие воды придает смеси характерную структуру, которая совместно с ее составом обуславливает формуемость и другие свойства [4]. Особо отметим, что процессы набухания, превращения золь↔гель, в т.ч. тиксотропия, и изменения в обменном комплексе требуют некоторого времени.

4. Протекающее во времени набухание сухих и маловлажных частиц глины в присутствии воды с увеличением их объема, коллоидальности, когезии и адгезии к песчинкам, температуры смеси на ~ 3°C, испарением влаги до 10% в «бегунах» и до 20% в скоростных смесителях [4, 6, 8].

Так, обнаружено [6], что в начале перемешивания, когда влага в смеси находится в достаточном количестве, глинисто-водная оболочка на песчинках имеет однородную структуру, а частицы глины расположены параллельно друг другу и поверхности песчинки. Такая структура оболочки способствует высокой прочности смеси. При более длительном перемешивании влага, содержащаяся в смеси, начинает интенсивно испаряться и перестает играть роль смазки между параллельными частицами и способствовать их благоприятному расположению. Перемешивание смеси в этих условиях приводит к хаотичному расположению частиц глины в оболочке и уменьшению прочности.

В зависимости от условий и характера приготовления свойства смеси могут меняться. Это изменение может быть настолько большим, что перекрывает влияние класса применяемых песков и качества глины. Из условий приготовления важными являются

длительность перемешивания, доля воды при перемешивании и масса замеса. Длительность в минутах характеризует однотипные смесители. Для сравнения разнотипных смесителей применяют число актов воздействия рабочих органов на микрообъем смеси (или сближений и расхождений песчинок и частиц глины в этом микрообъеме). Акт в «бегунах» длится ~1 с [14].

Под характером приготовления понимают смешивание и разминание. Так, в лопастных смесителях преобладает смешивание, а в «бегунах» сочетаются разминание и смешивание. Различают «мягкое» и «твердое» приготовление смеси, отличающиеся трудно определяемой характеристикой «твердость». При «мягком» приготовлении преобладает смешивание, «твердость» и пластичность смеси практически не меняются, но увеличивается газопроницаемость смеси и уменьшается ее плотность. При «твердом» приготовлении преобладает разминание, «твердость» и пластичность смеси меняются в широких пределах, уменьшается газопроницаемость смеси и увеличивается ее плотность. Например, в случае «бегунов» с достаточной массой замеса и высокой первоначальной влажностью смеси «мягкая» фаза приготовления по мере испарения части влаги плавно переходит в «твердую». Иногда влияние длительности перемешивания на свойства смеси более заметно, чем влияние состава. С уменьшением массы замеса повышается удельное давление катков на смесь и ее «твердость».

Отметим, что предполагаемая в работе [12] аморфизация поверхности песчинок при их фрикционном взаимодействии в наиболее известных смесителях путем образования новых поверхностей с разрывом химических связей и появлением активных (парамагнитных) центров, определяемых методом парамагнитного резонанса, не подтверждена экспериментом. По всей видимости, это маловероятно из-за недостаточности усилий для разрыва весьма прочных связей Si-O (с энергией 444–504 кДж/моль) и преодоления высокой твердости песчинок (7 по Моосу). Такое происходит при более значительных энергиях и длительности (≥ 1 ч) во время измельчения песчинок в мельницах (шаровых, вибрационных, струйных, планетарных и т.п.) [9, 10]. Имеются данные, что при использовании песка, активированного в дезинтеграторе со скоростью вращения роторов 25 с^{-1} , которая не вызывает дробления песчинок, прочность ПГС практически не повышается [8].

Не подтверждено также экспериментом мнение [12] о существенном для практики образовании при перемешивании смеси геля поликремниевых кислот за счет растворения поверхностного

слоя песчинок (особенно аморфного) в условиях малой длительности перемешивания ($\leq 0,5$ ч) и недостатка воды. Для этого необходимы гораздо большие время и избыток воды [9].

Для приготовления ПГС применяют смесители разных конструкций и принципа действия: чашечные с вертикально- или горизонтально вращающимися катками и без катков, шнековые, лопастные, барабанные, центробежно-планетарные, центробежные роторные, вихревые и т. д. Однако не найдены научно обоснованные рекомендации по их выбору и области применения.

Но имеются практические рекомендации [2], выдвигающие по качеству смеси на первое место чашечные смесители («бегуны») с тяжелыми вертикальными катками и перемешивающими плужками, в которых предусмотрены регулируемые зазор между катком и дном чаши для предотвращения дробления песчинок и (часто) устройство давления катка на смесь. Качество смеси в таких лабораторных смесителях принято за эталон. Комбинированным действием на смесь обеспечивается хорошее перемешивание и обволакивание песчинок связующим. Поэтому они рекомендуются для приготовления наиболее качественной облицовочной смеси. Увеличение их производительности путем «сдваивания» или «страивания» ухудшает качество смеси, особенно облицовочной.

Чашечные смесители с горизонтальными катками несколько уступают первым по качеству смеси, но более производительны вследствие повышенных скорости вращения и числа актов в единицу времени. Из-за облицовки обода катков и рабочей поверхности чаши резиной их раздавливающее действие на конгломераты песчинок слабее, чем у тяжелых вертикальных катков.

В шнековых и лопастных смесителях компоненты смеси хорошо перемешиваются и равномерно увлажняются, однако в них плохо происходит обволакивание зерен песка глиной. Поэтому их применяют для приготовления наполнительных смесей. Они наиболее просты и компактны. По другим видам смесителей пока не накоплен достаточный для такого сравнения опыт, особенно для облицовочных смесей.

Трехкомпонентная смесь часто не обладает всем комплексом необходимых свойств, особенно служебных. Поэтому для улучшения тех или иных свойств в ПГС вводили вино, мочу, солевые растворы, уксус, навоз, сусло и др. [1]. Сейчас вводят другие материалы: поверхностно-активные и органические связующие вещества, выгорающие и противопопригарные (органические, чаще всего углеродистые, или неорганические высокоогнеупорные сы-

пучие материалы) [4–8]. Распределение последних во всем объеме литейной формы вряд ли целесообразно, т.к. они выполняют свою функцию только в пограничных с отливкой слоях. Добавки часто вводят последними или в составе глинистой суспензии и премиксов.

Особо отметим, что, улучшая одни свойства смеси, практически любая добавка ухудшает другие. Так, ввод добавки порошка сверх необходимого количества глины и воды уменьшает газопроницаемость и, часто, прочность и формуемость. Кроме того, пылящие и сгорающие добавки ухудшают атмосферу рабочего места и (или) цеха.

После смесителя ПГС подвергают вылеживанию (≥ 30 мин) в бункерах-отстойниках для выравнивания распределения влаги в глинистых оболочках песчинок и дальнейшего набухания частиц глины. Затем смесь разрыхляют в аэраторах или дезинтеграторах для устранения комковатости и повышения формуемости и сыпучести, т.к. смесь приготовленная, например, в «бегунах», содержит до 30–50% комков размером ≥ 20 мм.

Смеси из свежих материалов с добавками используют часто в качестве облицовочных при изготовлении средних и крупных отливок или несложных стержней. Однако после изготовления отливки эта смесь может быть использована (после подготовки) для приготовления наполнительной, облицовочной смеси другого состава или единой смеси.

Библиографический список

1. Гуляев Б.Б., Корнюшкин О.А., Кузин А.В. Формовочные процессы. Л.: Машиностроение, 1987. 263 с.
2. Основы проектирования литейных цехов и заводов. М.: Машиностроение, 1979. 376 с.
3. Левшин Г.Е. О природе прочности литейных форм и стержней // Литейное производство. 1996. №4. С.18 – 19.
4. Сосненко М.Н. Приготовление формовочных и стержневых смесей. М.: Высш. шк., 1972. 256 с.
5. Васильев В.А. Физико-химические основы литейного производства. М.: Изд-во МГТУ, 1994. 320 с.
6. Боровский Ю.Ф., Шацких М.И. Формовочные и стержневые смеси. Л.: Машиностроение, 1980. 86 с.
7. Илларионов И.Е., Васин Ю.П. Формовочные материалы и смеси: монография. Чебоксары: ЧувГУ, 1992. Ч. 1. 223 с.

8. Технология литейного производства: формовочные и стержневые смеси / под ред. С.С. Жуковского и др. Брянск: БГТУ, 2002. 470 с.
9. Айлер Р.К. Химия кремнезема: в 2 ч. М.: Мир, 1982. 1127 с.
10. Хайнике Г. Трибохимия. М.: Мир, 1987. 584 с.
11. Физический энциклопедический словарь / под ред. А.М. Прохорова. М.: Сов. энцикл., 1984. 944 с.
12. Марков В.А. Разработка концепции интегрального механизма формирования свойств, состава ПГС и смесеприготовительного оборудования: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб.: СПбГТУ, 1977. 38 с.
13. Жуковский С.С. Прочность литейной формы. М.: Машиностроение, 1989. 288 с.
14. Ершов М. Ю. Адаптация типовой циклограммы к скоростным смесителям // Проблемы и перспективы развития литейного производства. Барнаул: АлтГТУ, 2000. С. 162–165.

УДК 621.74.04:666.199

В.П. Чернов, Е.А. Брылкин

Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И.Носова

ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НАСАДКА ГИДРОЦИКЛОНА

В настоящее время в условиях Учалинского ГОКа для отделения воды и шлама используют гидроциклон ГЦ-710. Этот гидроциклон имеет наиболее изнашиваемую часть – песковой насадок (рис. 1). До недавнего времени этот насадок изготовляли из стали, в результате чего он очень быстро выходил из строя вследствие низкой стойкости против абразивного износа. Это заставляет решать задачу о поиске новых материалов и технологии их производства для изготовления данного насадка, работающего в условиях интенсивного абразивного изнашивания.



Рис. 1. Насадок гидроциклона

Изделия из каменного и шлакового литья обладают ценными свойствами: высокой абразивной и химической стойкостью и механической прочностью, диэлектричностью, хорошей морозо- и жароустойчивостью.

Благодаря специфическому комплексу физико-химических и химических свойств камнелитые и шлаколитые изделия хорошо противостоят воздействию агрессивных и абразивных сред и поэтому являются незаменимым материалом для защиты оборудования от истирания и коррозии, в первую очередь, при обогащении полезных ископаемых. Сырьевыми ресурсами могут служить как горные породы, так и металлургические шлаки, представляющие собой отходы доменного, сталеплавильного и других производств.

Практика применения камнелитых и шлаколитых изделий показала их высокую эффективность, а именно то, что на каждой установленной тонне шлако- и камнелитых изделий экономится 2-5 т металла и значительно сокращается объем ремонтных работ. Учитывая все перечисленные преимущества шлакокаменного литья, было решено изготовить насадок гидроциклона из отходов производства.

Для того, чтобы получить в лабораторных условиях насадок массой 22 кг, материал которого удовлетворял бы химическому составу каменного литья, применяемого для защиты оборудования от абразивного износа, а именно: $\text{SiO}_2=44-49\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3=12-19\%$, $\text{CaO}=9-16\%$, $\text{MgO}=6-10\%$, $\text{FeO}=7-12\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3=2-6\%$, $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}=2-5\%$, был проведен расчет шихты. Состав шихты получился следующим: доменный шлак – 31,8%, шамотный порошок – 23,9%, кварцевый песок – 22,8%, железная руда – 14%, магнезит – 7,5%. В качестве подшихтовочного материала служил плавиковый шпат (5%), который вводили с целью снижения температуры плавления расплава и увеличения его жидкотекучести.

Было опробовано несколько вариантов положений отливки в форме при заливке. Наиболее подходящим вариантом оказался тот, который изображен на рис. 2. Для данного положения отливки в форме был проведен расчет литниково-питающей системы.

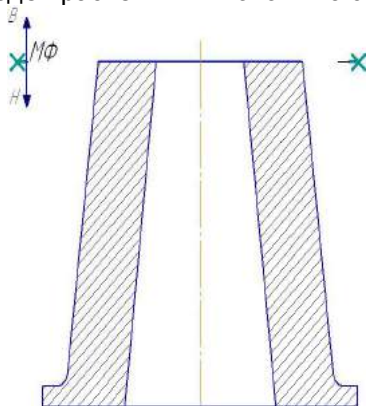


Рис. 2. Положение отливки в форме при заливке

Также опытным путем были опробованы несколько вариантов заливки (рис. 3). Наилучший вариант – в. В итоге форма состояла из четырех скрепленных между собой опок.

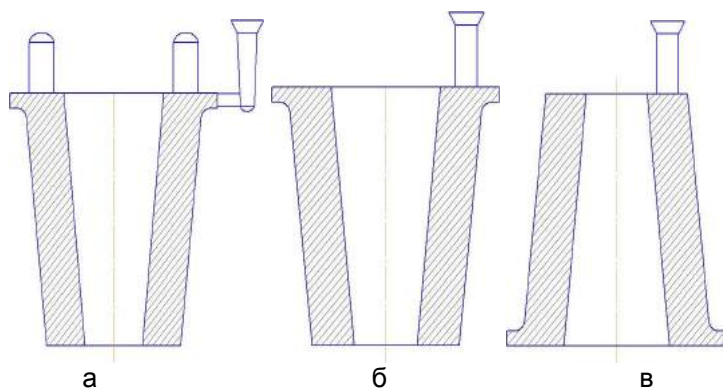


Рис. 3. Опробованные варианты заливки формы

Сквозное отверстие в отливке было выполнено стержнем. Стержень изготавливали из песчано-глинистой смеси с введением в нее древесных опилок в небольшом количестве с целью придания хорошей податливости.

Использовали песчано-глинистую формовочную смесь. Собранную форму подвергли сушке при температуре 200°C.

Плавку проводили в лабораторной печи сопротивления Штейнберга-Грамолина вместимостью 40 кг, которая представляет собой прямоугольную футерованную магнезитом камеру, перекрытую сводом, под которым горизонтально расположены три графитовых электрода. Подшихтовку и расплавление добавочных материалов производили по ходу плавки, постоянно перемешивая расплав. Готовый расплав выдерживали при температуре 1400°C в течение 30 мин, чтобы гомогенизировать расплав и удалить имеющиеся в нем газы. С целью снижения скорости охлаждения залитую форму утепляли керамзитом. Отливку в форме охлаждали двое суток.

Первоначально кольцо насадка гидроциклона получилось стекловидным вследствие высокой скорости охлаждения. При этом возникал большой градиент температур, и в месте стыка кольца с корпусом появлялись трещины. Поэтому для выравнивания скорости охлаждения по контуру кольца установили листовой асбест.



Рис. 4. Насадок гидроциклона ГЦ-710

Таким образом, в результате проделанной работы была получена здоровая отливка с кристаллической структурой (рис. 4) на основе доменного шлака с химическим составом, удовлетворяющим требованиям защиты оборудования от абразивного износа.

УДК 621.746.628.4

**А.С. Савинов, А.С. Тубольцева, В.Г. Паршин,
С.В. Решетникова, Е.В. Ачкасова**Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И.Носова**УЧЕТ ТЕПЛОТЫ ПАРООБРАЗОВАНИЯ В РАСЧЕТЕ ТЕПЛОГО
ПОЛЯ СЫРОЙ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТОЙ ФОРМЫ**

Расчет температурного поля сырой песчано-глинистой формы (ПГФ) при кристаллизации и охлаждении отливки осложняется необходимостью учета в уравнении теплопроводности затрат тепла на парообразование влаги в смеси. Одним из способов решения данного вопроса может быть увеличение теплоемкости формы таким образом, чтобы затраченная на парообразование теплота аккумулировалась слоем смеси на температурном отрезке ($T_0 - T_{исп}$). При этом считаем, что при температуре 100°C влага в слое смеси отсутствует. Откуда тепловой баланс процесса парообразования может быть выражен следующим равенством:

$$C_{доб}(T_{исп} - T_0) = L \frac{U_0}{100}, \quad (1)$$

где ($T_{исп} - T_0$) – температурный интервал полного испарения влаги, $^\circ\text{C}$;
 $C_{доб}$ – добавочное значение теплоемкости на температурном отрезке ($T_{исп} - T_0$), $\text{Дж/кг}_{смеси}^\circ\text{C}$;
 $T_{исп}$ – температура испарения (принимается равной 100°C);
 T_0 – начальная температура смеси (принимается равной 20°C);
 U_0 – начальная влажность формы, %.

В настоящее время одним из наиболее перспективных методов расчета температурных полей можно считать дискретные методы расчета на основе различных разностных схем [1]. Особенность данных методов в том, что измельчение расчетных временных и пространственных интервалов ведет к увеличению точности расчета, поэтому в большинстве случаев пространственные интервалы при моделировании теплового поля данными методами

на порядки меньше толщины всего слоя формы. Это дает нам основание предполагать, что в первом приближении вид функции распределения добавочной теплоемкости по толщине единичного

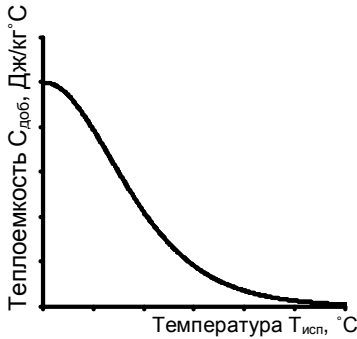


Рис. 1. Общий вид функции распределения $C_{доб}$ в температурном интервале $(T_{исп} - T_0)$

пространственного интервала незначительно влияет на конечный результат расчета. Исходя из физического смысла, авторами была принята следующая степенная зависимость изменения добавочной теплоемкости в температурном интервале $(T_{исп} - T_0)$ (рис. 1):

$$y = 1 - th^a \left(\frac{x}{2} \right). \quad (2)$$

Количество тепла, затраченного на парообразование влаги в 1 кг смеси с различной начальной влажностью, показано в табл. 1. При теплоте парообра-

зования воды $L=2,26 \cdot 10^6$ Дж/кг [3].

Таблица 1

Количество тепла, затраченного на парообразование влаги в 1 кг смеси

Параметр	Содержание влаги, %						
	2	4	6	8	10	12	14
$Q_{исх}, \text{кДж/кг}_{\text{смеси}}$	45,2	90,4	135,6	180,8	226,0	271,2	316,4

По данным, представленным в табл. 1, получили зависимость параметра a от начальной влажности формы:

$$a = U_0^{0,672} e^{2,87 \cdot 10^{-3} U_0^2 + 29,428 \cdot 10^{-2} U_0 - 1,849}. \quad (3)$$

Исходя из того, что величина рассматриваемого температурного интервала постоянна, т.е. $(T_{исп} - T_0) = \text{const}$, а функция (2), в зависимости от изменения параметра a , значительно изменяет эффективные пределы распространения кривой, то необходимо изменить зависимость (2) так, чтобы искомая добавочная теплоемкость была эффективно распределена в рассматриваемом темпе-

ратурном интервале. В противном случае полное испарение влаги в расчете может быть получено уже при 40 °С.

Для более эффективного распределения теплоемкости по величине исследуемого температурного интервала был проведен анализ функций (2), (3) и получено выражение, позволяющее скорректировать влияние показателя a на интервал распространения искомой теплоемкости [2].

$$Z = 9,653 - 0,023U_0 \ln(U_0) - 1,2511\ln(U_0). \quad (4)$$

Приняв во внимание выражения (2)–(4) и учитывая, что параметр x выражения (2) может быть записан как $x = (T - T_0)$, где T – текущая температура слоя, перепишем зависимость (2) в следующем виде:

$$C_{доб} = \left(1 - th^{U_0^{0,672} e^{2,8740 \cdot 10^{-3} U_0^2 + 29,42810 \cdot 10^{-2} U_0 - 1,849}} \left(\frac{T - T_0}{2(9,653 - 0,023U_0 \ln(U_0) - 1,2511\ln(U_0))} \right) \right)^x \times \frac{G}{9,653 - 0,023U_0 \ln(U_0) - 1,2511\ln(U_0)}, \quad (5)$$

где G – переводной коэффициент, учитывающий перевод квадратных единиц, полученных при решении зависимости (2) в общем виде, в количественное выражение теплоты, затраченное на испарение влаги в 1 кг смеси, $G = 53800$.

Графическое отображение результатов, полученных по выражению (5), покажем на рис. 2.

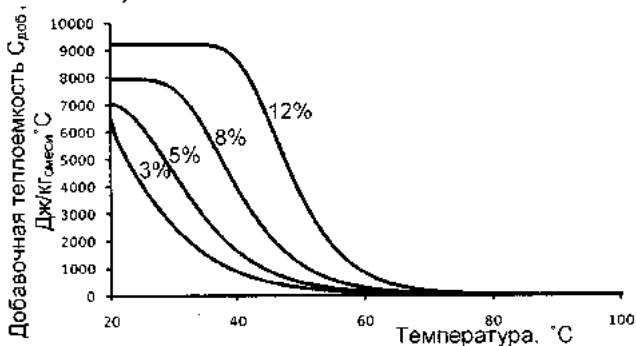


Рис. 2. Изменение добавочной теплоемкости смеси в температурном интервале испарения влажности

элементарного слоя

Используя формулу (5), рассчитаем количество тепла $Q_{\text{расч}}$ (табл. 2), выделившегося в температурном интервале ($T_{\text{исп}} - T_0$) при различном содержании начальной влажности, сравнив при этом со значениями табл. 1. Полученные данные отобразим на рис. 3.

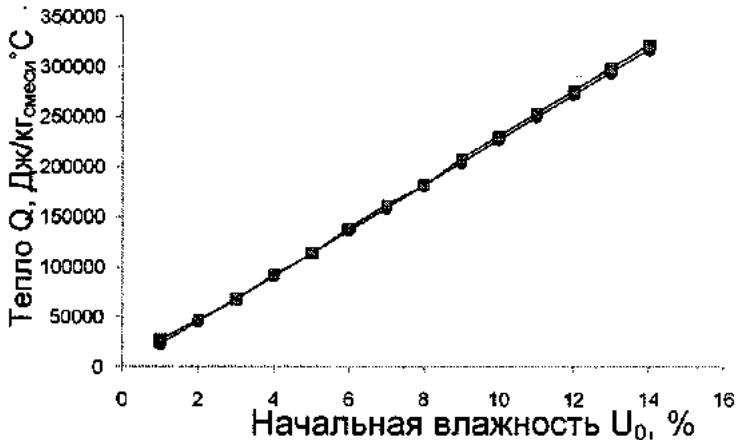


Рис. 3. Зависимость теплоты, затраченной на парообразование, от влажосодержания смеси:

- - исходные данные;
- ◊ - расчетные данные

Относительное отклонение исходных и расчетных значений составляет $\varepsilon=1,8$ %. Для большего совпадения введем поправочный коэффициент K как среднее между отношениями исходных и расчетных значений теплоты, затраченной на парообразование (см. табл. 2).

Таблица 2

Расчет поправочного коэффициента K

Начальная влажность, %	Тепло, затраченное на парообразование, Дж/кг смеси		Коэффициент отклонения K
	$Q_{\text{исх}}$	$Q_{\text{расч}}$	
2	45200	47646	0,94
3	67800	68021	0,99
4	90400	92072	0,98
5	113000	113253	0,99

Окончание табл.2

Начальная влажность, %	Тепло, затраченное на парообразование, Дж/кг _{смеси}		Коэффициент отклонения <i>K</i>
	$Q_{исх}$	$Q_{расч}$	
6	135600	138685	0,97
7	158200	161820	0,97
8	180800	181289	0,99
9	203400	207529	0,98
10	226000	230209	0,98
11	248600	252855	0,98
12	271200	275521	0,98
13	293800	298251	0,98
14	316400	321081	0,98
Среднее значение <i>K</i>			0,98

$$K = \frac{Q_{исх}}{Q_{расч}}. \quad (6)$$

Таким образом, выражение (5) запишется как

$$C_{ооб} = K \left(1 - th^{U_0^{0,672} e^{2,87 \cdot 10^{-3} U_0^2 + 29,42810^{-2} U_0 - 1,849}} \left(\frac{T - T_0}{2(9,653 - 0,023 U_0 \ln(U_0) - 1,251 \ln(U_0))} \right) \right) \times \quad (7)$$

$$\times \frac{G}{9,653 - 0,023 U_0 \ln(U_0) - 1,251 \ln(U_0)} = 0,98 (1 - th^{0,672 U_0 e^{2,78 \cdot 10^{-3} U_0^2 + 29,42810^2 U_0 - 1,849}} \times$$

$$\times \left(\frac{T - 20^0}{2(9,653 - 0,023 U_0 \ln(U_0) - 1,251 \ln(U_0))} \right)) \frac{53800}{9,653 - 0,023 U_0 \ln(U_0) - 1,251 \ln(U_0)}.$$

Введение поправочного коэффициента *K* позволило снизить погрешность между расчетными и исходными данными до 0,8 %.

В результате проведенной работы получено выражение (7), позволяющее учитывать теплоту парообразования в теплотехнических расчетах теплового состояния сырой ПГФ.

Библиографический список

1. Арутюнов В.А., Бухмиров В.В., Крупенников С.А. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей: учебник для вузов. М.: Металлургия, 1990. 239 с.
2. Рыбасенко В.Д., Рыбасенко И.Д. Элементарные функции: Формулы, таблицы, графики. М.: Наука, 1987. 416 с.

Раздел 4

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМООБРАБОТКА СПЛАВОВ И ОТЛИВОК

УДК 621.074

А.В. Нищенков, Л.И. Леушина

Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева

ПРИМЕНЕНИЕ ОТРАБОТАННЫХ МОДЕЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НОРМАЛИЗАЦИИ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Нормализация стальных заготовок является одной из основных финишных операций изготовления качественных отливок ответственного назначения. Она представляет собой нагрев доэвтектоидной стали до температуры выше $A_{с3}$, а заэвтектоидной стали – выше $A_{сm}$ на 50-60°C с последующими выдержкой и охлаждением на воздухе. При нормализации происходит перекристаллизация стали, устраняющая крупнозернистую структуру, получаемую в литье. Итогом нормализации является распад аустенита на ферритно-цементитную смесь повышенной дисперсности.

Назначение нормализации различается в зависимости от состава и марки стали [1]. Так, например, низкоуглеродистые стали подвергаются нормализации вместо отжига, в результате чего их твердость незначительно возрастает, но улучшается обрабатываемость резанием. Для среднеуглеродистых сталей нормализация применяется вместо закалки и высокого отпуска (улучшения). При этом механические свойства стали несколько снижаются, но уменьшается вероятность коробления тонкостенных деталей по сравнению с закалкой. Высокоуглеродистые стали подвергают нормализации с целью устранения цементитной сетки, ухудшающей структуру, и, как следствие, свойства материала отливок. Нормализацию легированных сталей с последующим высоким отпуском (600-650°C) обычно применяют вместо отжига для исправления структуры.

Наиболее распространенными на практике дефектами нормализации считают окисление (окалинообразование) и обезуглероживание поверхностного слоя стальных отливок [2]. Оба эти дефекта связаны с химическим взаимодействием поверхности металла отливки с окружающей средой.

Окисление стали представляет собой процесс взаимодействия железа в основном с кислородом окружающей среды с образованием на поверхности отливки окислов железа, окалины. Оно ухудшает качество поверхности отливки, приводит к изменению размеров отливки, к потерям металла, к затратам на механическую обработку и проведению дополнительных трудоемких и вредных операций очистки.

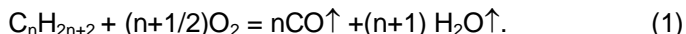
Обезуглероживание – это уменьшение содержания углерода в поверхностном слое отливки. Обезуглероживание способствует ухудшению структуры материала в поверхностном слое и, как следствие, снижению уровня механических и эксплуатационных свойств изделия.

Окисление и обезуглероживание поверхности стальных отливок происходят одновременно, носят диффузионный характер и зависят от конструкции печи, состава и давления атмосферы рабочего пространства, температуры и времени нагрева, а также химического состава материала отливок.

Обычно для предотвращения этих процессов в условиях действующего производства применяют обработку в термических нагревательных печах с защитными газовыми средами, в вакуумных печах, а также используют засыпку садки печи карбюризатором, в качестве которого может выступать древесный уголь или чугунная стружка.

В Нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексеева разработана технологическая схема проведения нормализации стальных отливок ответственного назначения, получаемых методом литья по выплавляемым моделям, обеспечивающая повышение эффективности термической обработки на основе принципов ресурсосбережения. Суть предлагаемой схемы сводится к тому, что при проведении нормализации отливок используется отработанная модельная композиция на основе парафиностеариновой группы (рециклинговые отходы ПС 50/50), широко применяемая для изготовления моделей в точном стальном литье. Этот материал представляет собой смесь твердых углеводородов предельного метанового ряда (C_nH_{2n+2}), которая при нагреве до температур нормализации стальных отливок

может вступать в реакцию с кислородом рабочего пространства термической печи [3]:



В условиях недостатка кислорода происходит накопление СО в атмосфере печи, что делает ее восстановительной, препятствуя протеканию процессов окисления и обезуглероживания. Образующийся по реакции (1) водяной пар (H_2O) теряет свои окисляющую и обезуглероживающую способности, поскольку в условиях высоких температур при наличии в садке карбюризатора (С) вступает в реакцию образования водяного газа [4]:



Получающийся в результате протекания реакции (2) «сухой» водород (водород H_2 без водяного пара H_2O) практически не вызывает обезуглероживания, а также способствует поддержанию восстановительной атмосферы в печи, препятствуя окислению [1].

Кроме того, учитывая, что реакция (2) является эндотермической, становится возможным избежать сильной перегрузки нагревательных элементов термической печи и обеспечить повышение эксплуатационного ресурса их работы.

Необходимое количество отработанной модельной композиции для реализации данной технологической схемы в условиях действующего производства определяется расчетно-опытным путем и составляет в среднем до 5% от массы садки.

Разработанная схема позволяет снизить окисление и обезуглероживание стальных отливок ответственного назначения при проведении их нормализации в камерных и проходных нагревательных печах, повысить ресурс работы нагревательных элементов, а также снизить расход карбюризатора при проведении термической обработки.

Библиографический список

1. Зуев В.М. Термическая обработка металлов. М.: Высш. шк.; Издательский центр «Академия», 1999. 288 с.
2. Гуляев А.П. *Металловедение*. М.: Металлургия, 1977. 647 с.
3. Слета Л.А. *Химия: справочник*. М.: ООО «Издательство АСТ», 2000. 496 с.
4. *Справочник по элементарной химии* / под общ. ред. А.Т. Пилипенко. Киев: Наук. думка, 1977. 544 с.

УДК 621.771:621.791

А.А. Бердников

ООО «Урал-Техно-Плазма НТ», г.Нижний Тагил

Д.В. Безносков

Нижнетагильский технологический институт
(филиал) УГТУ-УПИ

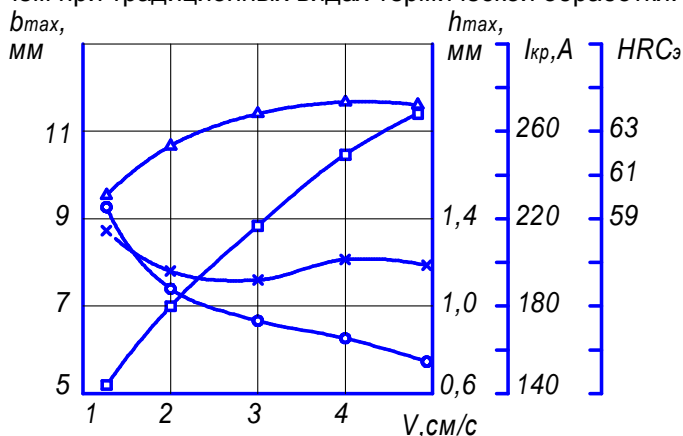
ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАЗМЕННОЙ ЗАКАЛКИ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

В 1980-е годы появились публикации с примерами практического применения высококонцентрированных потоков энергии для поверхностного упрочнения деталей прокатного оборудования, подтверждающие перспективность электронно-лучевой, лазерной, а также плазменной закалки [1], которая в силу своих преимуществ является наиболее простым и рациональным способом упрочнения [2].

Плазменная закалка осуществляется путём сверхбыстрого нагрева поверхностного слоя выше критических точек при перемещении плазменной дуги по поверхности изделия. При этом необходимая для получения закалочной структуры скорость охлаждения обеспечивается, как правило, за счёт теплоотвода в массу изделия. Упрочнение при плазменном нагреве без оплавления не ухудшает качества поверхности и может использоваться как финишная операция без дополнительной последующей механической обработки.

Были проведены исследования влияния параметров режима плазменной закалки на глубину, ширину и твёрдость зоны плазменного воздействия (ЗПВ) на образцах из различных чугунов и сталей, в том числе валковых (рис.1) [3]. Выявлена возможность регулирования этих показателей при закалке в широких пределах, что является важным преимуществом процесса. Глубина ЗПВ при закалке дугой прямого действия без оплавления составляет для сталей 0,2–1,6 мм, для чугуна – 0,2–1,1 мм, зависит от химсостава и исходной структуры, регулируется изменением тока дуги и скорости её перемещения при прочих равных параметрах (длина дуги, расход плазмообразующего газа аргона). Ширина упрочняемой полосы составляет 5–10 мм, а со сканированием дуги, позволяющим повысить производительность закалки, – 10–35 мм (рис.2).

Полученные значения глубины ЗПВ соизмеримы с величиной допустимого износа многих деталей машин и инструмента и достаточны для существенного повышения их износостойкости после плазменной закалки за счёт получения в поверхностном слое специфической мелкодисперсной структуры с более высокой твёрдостью, чем при традиционных видах термической обработки.



▲ – HRC_z , ● – h_{max} , ■ – $I_{кр}$, × – b_{max} .

Рис.1. Зависимость максимальных геометрических размеров, твёрдости ЗПВ при обработке без оплавления и критического тока от скорости плазменной обработки стали 60ХН

Характерной особенностью фазового состава поверхностных слоёв после плазменной закалки является наличие значительного количества метастабильного остаточного аустенита (А) на глубине до 0,25 мм. В заэвтектидных сталях его количество может достигать 95% при одновременном увеличении твёрдости мартенсита (М), в доэвтектидных сталях с увеличением % А твёрдость М снижается (рис.3). Но и в том, и другом случае, за счёт повышения работы зарождения и распространения трещин существенно снижается склонность к трещинообразованию.

Преимущества плазменной закалки наиболее полно были реализованы в технологии поверхностного упрочнения валков горячей прокатки, которая позволяет существенно повысить их стойкость, наработку, снизить удельный расход и затраты на приобретение новых валков [4]. Знание зависимостей фазового состава, геометрических размеров и твёрдости ЗПВ (в том числе распределения

твёрдости по ширине и глубине) позволяет на практике целенаправленно использовать оптимальный режим заковки для каждого конкретного случая. Например, получение в поверхностном слое стальных валков черновых клеток max % А снижает склонность к образованию сетки разгара или существенно измельчает её (рис.4).

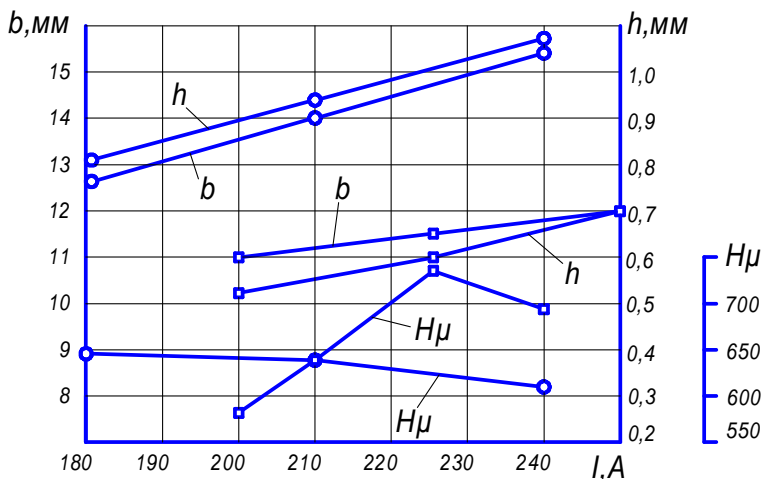


Рис. 2. Влияние тока и линейной скорости перемещения сканируемой дуги на ширину (b), глубину (h) и микротвёрдость ($H\mu$) упрочнённого слоя при плазменной заковке стали 50.

Скорость, см/с: \circ — 2; \square — 4. Напряжение на магнитопроводе 12 В

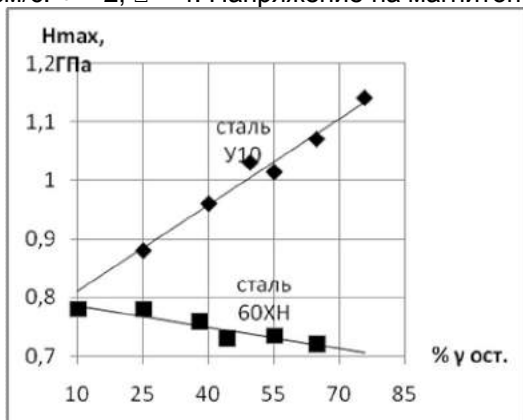


Рис.3. Взаимосвязь микротвёрдости мартенсита и количества остаточного аустенита на поверхности

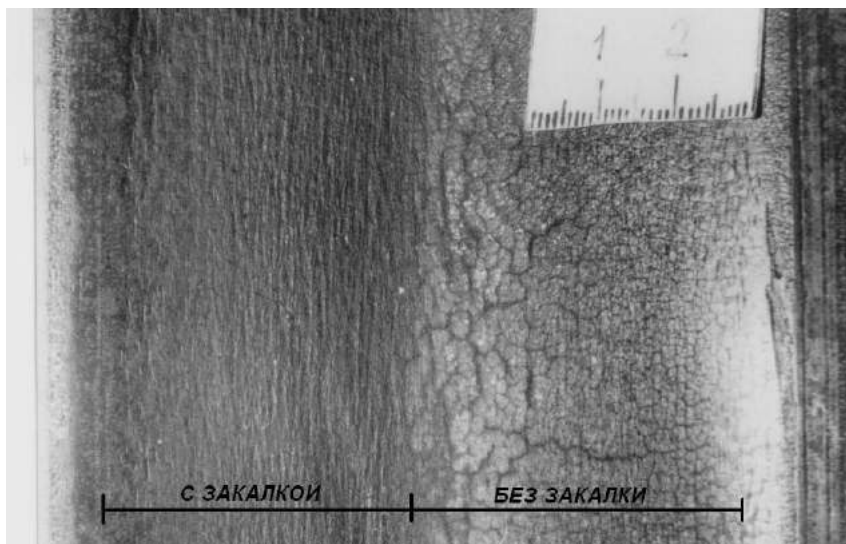


Рис.4. Поверхность ящичного калибра валка из стали 150Х2ГНМФ после предварительной плазменной закалки левой половины и последующей прокатки 1826 т легированной стали

В 1989 г. были закалены и испытаны первые комплекты стальных валков: в крупносортом цехе (стан «650») НТМК валки I клетки из стали 60ХН для прокатки швеллера 20 показали стойкость в 1,45 раза выше; на Серовском металлургическом заводе (стан «320») ящичный, ребровой ящичный и ромбический чистовой калибры валков из стали 150Х2ГНМФ для прокатки шестигранника показали стойкость в 1,5 – 1,8 раза большую, чем без закалки; на том же заводе на стане «850» валки из стали 70Л чистовой клетки для прокатки круга 180 и 210 показали стойкость в 1,6 – 1,8 раза выше. В 1994 г. в рельсобалочном цехе НТМК были закалены и испытаны первые комплекты валков из чугуна СРХН-49 чистовой клетки для прокатки швеллера 27 (стан «800») и черновой клетки для прокатки рельсов, стойкость повысилась на 8-74%.

Таблица 1

Сортамент валков, упрочняемых плазменной закалкой

п/п	Наименование комплекта валков	Номер клетки
1	Круг Ø 105-150	1
2	Круг Ø 90-100	1
3	Квадрат □ 80 – 100	1
4	Квадрат □ 80 – 150	1
5	Квадрат □ 120 – 150	1
6	Рельсы УIC-60Е1, Р65	1
7	Швеллер 16	1
8	Швеллер 18	1
9	Швеллер 20	1
10	Швеллер 24	1
11	Швеллер 27	1
12	Швеллер 30	1
13	Хребтовая балка 310	1
14	Рельсы УIC-60Е1, Р65	2
15	Квадрат □ 100 – 120	2
16	Квадрат □ 120 – 150	2
17	Швеллер 16	2
18	Швеллер 18	2

п/п	Наименование комплекта валков	Номер клетки
19	Швеллер 20	2
20	Швеллер 24	2
21	Швеллер 27	2
22	Швеллер 30	2
23	Квадрат □ 100-120	3
24	Квадрат □ 130-150	3
25	Подкладка КБ65	3
26	Швеллер 16	3
27	Швеллер 18	3
28	Швеллер 20	3
29	Швеллер 24	3
30	Швеллер 27	3
31	Швеллер 30	3
32	Уголок 100x160	3
33	Уголок 140x140	3
34	Уголок 160x160	3
35	Уголок 200x200	3
36	Круг Ø 70-85	1

Таблица 2

Показатели работы чугунных прокатных валков КСЦ при производстве квадрата 100 (январь 2009 г.)

Показатель	Номер комплекта	Клеть	Кол-во калибров	Съем с комплекта, мм	Прокатано комплектом, т	Количество закладок	Ср. стойкость за закладку, т	Ср. стойкость на калибр, т	Отклонение +увеличение -снижение, %	Ср. стойкость на мм сьема, тонн	Отклонение +увеличение -снижение, %
После закладки	83	2	8	90	393142	7	56163	7020		4368	
	81 А	3	1	18	8119	1	8119	8119		451	
Без закладки	78А	2	4	15	15268	1	15268	3817	-45,6	1357	-69
	80А	3	1	14	3856	1	3856	3856	-52,5	275,4	-39

Стойкость неупрочнённых комплектов валков из чугуна ССХНМ-42 снизилась в 1,84 и в 2,11 раза, а наработка – в 3,22 и 1,64 раза.

Таблица 3
Показатели работы чугунных прокатных валков КСЦ при производстве швеллера 20 (янв.2010 г.)

Показатель	Номер ком- плекта	Номер клетки	Прокат за ус- тановку, т	Отклонение +увеличение -снижение, %	Съем при ремонте, мм	Наработка, т/мм	Отклонение +увеличение -снижение, %
После плаз- менной закалки	29	2	2282		13	175,54	
Без упрочнения	30	2	1806	-20,9	19	95,05	-45,9

Наработка валков из чугуна СШХНМ-50 после упрочнения плазменной закалкой в 1,85 раза выше.

С 1995 г. и по настоящее время в ОАО «НТМК» плазменная закалка стальных и чугунных валков производится в промышленных масштабах в крупносортомном и рельсобалочном цехах (табл.1). Стойкость валков, зависящая от многих производственных факторов, повышена в те же самые разы, что и 20 лет назад (табл.2, 3), но производительность закалки в 2-3 раза выше за счёт сканирования плазменной дуги поперечным магнитным полем. На основе многолетнего опыта работы выработаны рекомендации, выполнение которых позволяет получать максимальный технический и экономический эффект от применения технологии плазменной закалки, а также минимизировать затраты на сам процесс и прокатные валки. В 2009 г. специалистами ООО «Урал-Техно-Плазма НТ» было закалено 882 сортопрокатных валка, показатель экономической эффективности – 8,46 руб. на 1 руб. затрат.

Библиографический список

1. Современные методы упрочнения поверхности деталей прокатного оборудования / Скобло Т.С., Рудюк С.И. и др. // Бюл. НТИ. Чёрная металлургия. 1988. №16. С.2-15.
2. Плазменное поверхностное упрочнение / Л.К. Лещинский, С.С. Самотугин и др. Киев: Техника, 1990. 109 с.
3. Регулирование геометрии зоны плазменного влияния на нормализованной и высокоотпущенной стали 60ХН / Бердников А.А., Филиппов М.А., Бирюков А.С., Серебренников С.И. // ЦНИИИ и ТЭИ ЧМ. 1990. № 5. С. 137-146.
4. Плазменная закалка деталей сменного оборудования в прокатном производстве / Бердников А.А., Безносков Д.В., Зудов А.Ф., Бирюков А.С. // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки: материалы 10-й Междунар. науч.-практ. конф: в 2 ч. Ч. 2. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. С. 28-35.

УДК 669.131.2:621.78.01

П.А. Молочков, М.Г. Потапов, С.В. БерезоваМагнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова**ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА
И СТРУКТУРУ ИЗНОСОСТОЙКОГО ЧУГУНА МАРКИ ИЧ300Х16Ф8**

Термическая обработка – важный этап технологии изготовления деталей из белых износостойких чугунов. Неправильно назначенный или неудачно проведенный режим термической обработки может существенно снизить преимущества этих чугунов перед другими сплавами в стойкости при эксплуатации. Особенно важен выбор того или иного режима термической обработки для вновь созданных сплавов.

Для проведения исследований были отлиты в песчано-глинистые формы и кокиль образцы с размерами 30×30×10 мм из чугуна марки ИЧ300Х16Ф8.

Литые образцы были подвергнуты отпуску в интервале температур 150–600°С через каждые 150°С и нормализации в интервале температур 850–1100°С через каждые 50°С. Результаты экспериментов представлены в табл. 1, 2 и на рис. 1, 2.

Таблица 1

Влияние температур отпуска и нормализации на твердость и износостойкость чугуна марки ИЧ300Х16Ф8

Режим	Температура нагрева, °С	Тип формы			
		ПГФ		Кокиль	
		HRC	K _И	HRC	K _И
Литой	-	59,5	10,0	61	13,1
Отпуск, охлаждение на воздухе	150	59,6	10,0	60,9	13,1
	300	62,8	10,7	63,1	13,3
	450	62,8	12,0	62,8	14,0
	600	59,3	7,9	60,0	9,5
Нормализация	850	57,5	7,6	59,5	9,0
	900	57,2	8,2	59,5	9,8
	950	60,3	10,4	60,8	10,4
	1000	62,0	11,2	60,1	12,0
	1050	62,5	9,1	60,0	13,2
	1100	61,0	8,2	60,0	9,6

Таблица 2

Микротвердость термически обработанных образцов

Режим	Температура, °С	Микротвердость эвтектики, МПа	
		ПГФ	Кокиль
Литой	-	7484,9	6619,9
Отпуск	150	8815,3	7377,7
	300	7278,3	7149,1
	450	7616,1	6667,0
	600	6667,0	6572,1
Нормализация	850	7287,3	5834,9
	900	6235,7	5547,7
	950	6863,4	5343,5
	1000	7019,9	6249,6
	1050	7625,3	7265,6
	1100	7282,8	7213,4

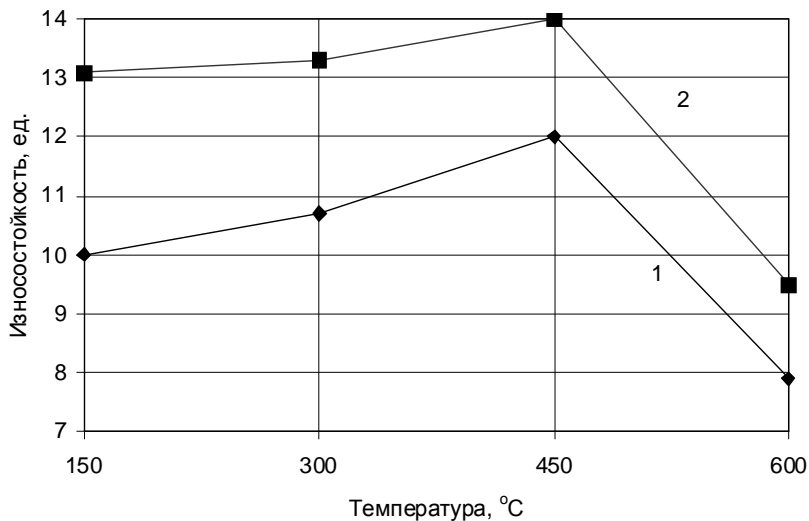


Рис. 1. Влияние температуры отпуска на износостойкость чугуна ИЧ300Х16Ф8, залитого в ПГФ сырая (1); кокиль (2)

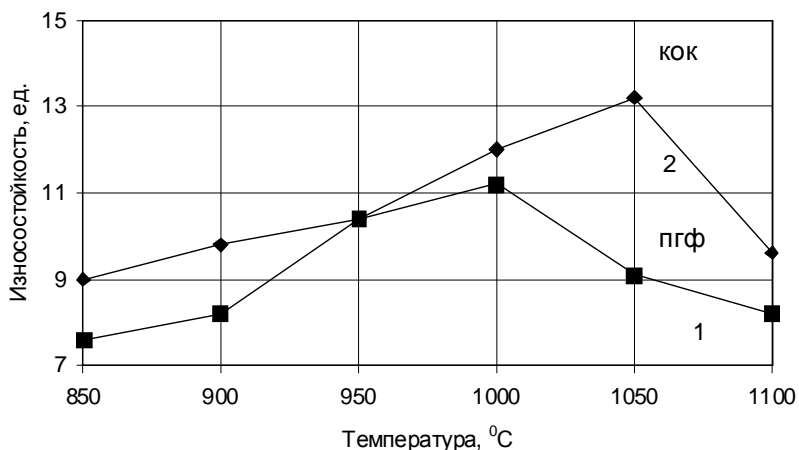
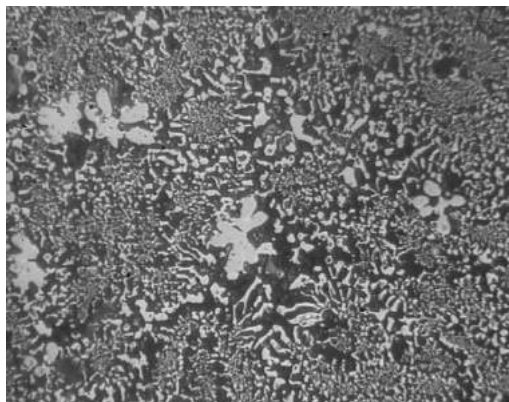


Рис. 2. Влияние температуры нормализации на износостойкость чугуна ИЧ300Х16Ф8, залитого в ПГФ сырая (1); кокиль (2)

Структура чугуна в литом состоянии состоит из карбидов ванадия сферолитных включений двойной эвтектики $A + (Fe, Cr, V)_x C_y$ и тройной эвтектики $A + (Fe, Cr, V)_x C_y + VC$, которая располагается в виде сетки по границам колоний двойной эвтектики. Карбиды ванадия, оттесняемые растущими колониями двойной эвтектики, находятся в объеме жидкой фазы и поэтому при кристаллизации располагаются на тройной эвтектике (рис. 3).

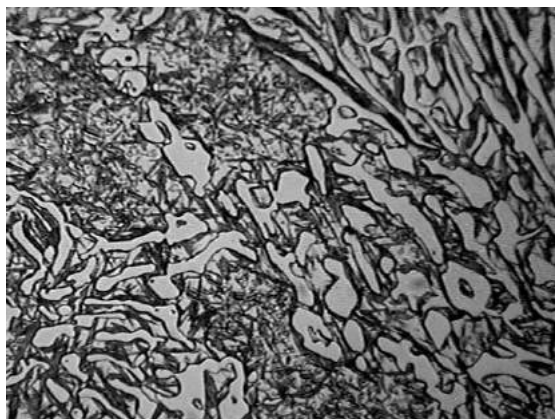
Температура нормализации (закалки) воздушно-закаливаемых белых износостойких чугунов заданного химического состава определяет однородность и легированность твердого раствора. Повышение температуры закалки до определенного предела способствует растворению в аустените углерода и легирующих элементов. При этом возрастает устойчивость аустенита в перлитной области, но одновременно снижается температура мартенситного превращения. Влияние повышения температуры закалки сравнимо с комплексным легированием чугуна элементами, входящими в состав его карбидов. Соответственно повышение температуры закалки обычно сопровождается увеличением прокаливаемости, но максимальная твердость при этом может снижаться вследствие увеличения количества остаточного аустенита.



x500

Рис. 3. Микроструктура чугуна ИЧ300Х16Ф8 в литом состоянии

Свойства исследованного чугуна в зависимости от температуры нормализации изменяются по кривым с максимумами. Максимальная износостойкость соответствует температурам 1000 – 1050°С. При нагреве происходит старение аустенита, образуются вторичные дисперсные комплексные карбиды типа $(Fe, Cr, V)_x C_y$ (рис. 4).

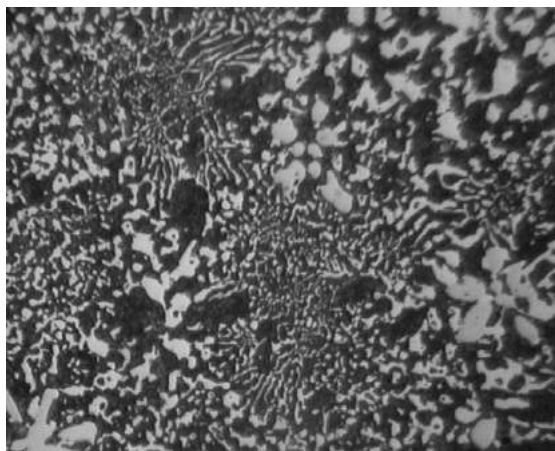


x1000

Рис. 4. Структура чугуна ИЧ300Х16Ф8 после нормализации при температуре нагрева 1050°С

По мере повышения температуры нагрева до 1050-1100°C происходит растворение вторичных карбидов и эвтектических карбидов (рис. 5) и насыщение аустенита углеродом и легирующими элементами, что приводит к снижению мартенситной точки и повышению количества остаточного аустенита в структуре металлической основы. В результате наличия аустенита и снижения объема карбидной фазы износостойкость чугуна снижается.

Для снятия литейных и термических напряжений применяют отпуск. В результате выбора температуры отпуска было установлено, что максимальными свойствами обладают образцы, выдержанные при температуре 450°C.



x500

Рис. 5. Микроструктура чугуна ИЧ300Х16Ф8 после нормализации при температуре нагрева 1100°C

Отпуск при данной температуре приводит к образованию дисперсных вторичных карбидов хрома типа $(Fe, Cr)_7C_3$ и распаду аустенита, в результате твердость и износостойкость растут. При нагреве до 600°C происходит снижение твердости, микротвердости и износостойкости из-за распада мартенсита и аустенита и образования перлитной структуры металлической основы в эвтектических колониях.

Для выбора режима термической обработки был спланирован и проведен дробный факторный эксперимент типа 2^{4-1} при следующем изменении факторов: X_1 (температура нормализации t_n ,

950-1000 °С); X_2 (температура отпуска $t_{\text{отп}}$, 350-450 °С); X_3 (время выдержки при нормализации $\tau_{\text{н}}$, 1-2 ч); X_4 (время отпуска $\tau_{\text{отп}}$, 1-2 ч).

Термообработку проводили на образцах, залитых в сырую ПГФ. Для образцов, залитых в кокиль, сложную термическую обработку проводить необязательно, так как максимальных свойств можно достигнуть при температуре отпуска 400 °С.

Результаты эксперимента представлены в табл. 3 и в зависимостях:

$$K_{\text{И}} = 9,175 - 0,08X_1 - 0,03X_2 - 0,35X_3 - 0,15X_4; \quad (1)$$

$$\text{HRC} = 59,95 + 0,68X_1 + 1,33X_2 + 0,43X_3. \quad (2)$$

Таблица 3
Матрица планирования и результаты ДФЭ 2^{4-1}

Номер опыта	Факторы				Свойства	
	$t_{\text{н}}$, °С	$t_{\text{отп}}$, °С	$\tau_{\text{н}}$, ч	$\tau_{\text{отп}}$, ч	HRC	$K_{\text{И}}$
1	950	350	1	1	57,5	9,1
2	1000	350	1	2	59,5	9,7
3	950	450	1	2	59,6	8,5
4	1000	450	1	1	61,5	10,8
5	950	350	2	2	58	10,0
6	1000	350	2	1	59,5	8,0
7	950	450	2	1	62	8,9
8	1000	450	2	2	62	7,9

Из анализа табл.3 видно, что при увеличении температуры нормализации и отпуска, а также времени выдержки износостойкость в сравнении с износостойкостью в литом состоянии снижается. Это объясняется тем, что растет доля стабильного аустенита и идет растворение карбидов в нем.

Установлено, что для чугуна ИЧ300Х16Ф8 не требуется сложная термическая обработка, а достаточен отпуск при температуре 400–450 °С, это возможно благодаря высоким исходным свойствам чугуна в литом состоянии, достигаемым за счет оптимально подобранного легирующего комплекса.

Раздел 5

СПЕЦИАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ЛИТЬЯ

УДК 621.74

М.А. Иванов, Б.А. Кулаков

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

К ВОПРОСУ ЛИТЬЯ СВИНЦОВО-СЕРЕБРЯНЫХ АНОДОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЦИНКА

При электролитическом производстве цинка на Челябинском цинковом заводе используют свинцово-серебряные аноды с размерами 1050×1770×16 мм, изготавливаемые литьем в кокиль. С целью снижения затрат на обслуживание анодов в последнее время предпринимаются попытки изменить их конструкцию. Из-за большой трудоемкости очистки анода от шлама полностью отказались от вертикальных ребер, которые увеличивали площадь анода и позволяли интенсифицировать процесс электролиза, но быстро забивались шламом.

В новой конструкции поверхность анода гладкая. За счет отказа от ребер уменьшилась толщина анода с 16 до 11 мм. Также изменены геометрия и места крепления изоляторов. Вместо вертикальных отверстий под изоляторы предложены протяженные горизонтальные, которые позволили уменьшить количество выпадений изоляторов из анода при их установке и извлечении. Всё это одновременно привело на заводе к изменению конструкции и изготовлению нового кокиля.

Спроектированный кокиль состоит из двух стальных половинок толщиной по 80 мм, выполненных из листового проката, одна из которых является подвижной и раскрывается в виде «книжки». Масса каждой половинки – 1500 кг. Заливка производится из печи со стопорным отверстием и с ручной регулировкой скорости подачи металла.

После пуска новой кокильной установки выяснилось, что для получения годного анода необходимо сделать более 15-20 заливок вхолостую.

Для изучения характера дефектов анодов произведена фотосъемка залитых анодов (рис. 1). Заливка производилась в холодный кокиль с предварительной покраской теплоизоляционным разделительным покрытием на основе извести.

По мере прогрева, с увеличением количества заливок, ситуация несколько улучшается, то есть заполнение кокиля возрастает, но получение качественного анода не обеспечивается.

Хорошо видно, что анод, в большинстве случаев, имеет большие области непролива в центральной части, а также встречные характерные потоки металла, соединяющие верхнюю и нижнюю части анода, проявляющиеся в виде неспаев.



Рис.1. Анод №1 новой конструкции

На рис.2 выделены шарообразные включения, образующиеся в результате капельного разбрызгивания заливаемого металла.

При конструировании кокиля необходимо было учесть, что увеличение толщины стенки кокиля повышает скорость затвердевания и охлаждения отливок из сплавов с низкой температурой плавления (Pb, Sn, Zn, Al и др.), так как в данном случае главную роль играет теплоаккумулирующая способность формы, ибо в нее поступает мало тепла с заливаемым металлом [1, 2].



Рис.2. Фрагмент анода №1 с дефектами шарообразной формы

В случае с анодом количество поступающего с заливаемым металлом (~300 кг) тепла в форму составляет при $T_{\text{зал}}=500^{\circ}\text{C}$ около 19500 кДж, в то время как теплоаккумулирующая способность стального кокиля массой ~3000 кг при нагреве на 100°C составляет 150 000 кДж, т.е. разница почти в 8 раз. Кроме того, теплоотвод осуществляется через большую поверхность ~ 38 000 cm^2 контакта отливки с кокилем.

Согласно термометрированию после заливки 7 анода верхняя внутренняя часть кокиля имела температуру около $180\text{--}200^{\circ}\text{C}$, средняя – около $110\text{--}120^{\circ}\text{C}$, а нижняя часть кокиля – $60\text{--}80^{\circ}\text{C}$. Для выравнивания температур необходим подогрев нижней части кокиля и поддержание его температуры на уровне 180°C .

Нарушение теплового режима формы приводит к быстрому затвердеванию заливаемого металла, а следовательно, к недоливам, формированию пустот и т.д. В то же время перегрев металла, для улучшения заполняемости формы, приводит к дополнительному окислению свинца и серебра, то есть увеличению потерь, а также к усадочным явлениям в отливке.

Анализ технологии литья при использовании всех трех питателей одновременно (рис.3) показал, что происходит разделение потока металла в полости кокиля на несколько частей. А так как толщина стенки анода 11 ± 1 мм, то оставшемуся воздуху достаточно трудно выйти из полости слитка и он частично там остается, что хорошо видно по рис. 1 – 3.

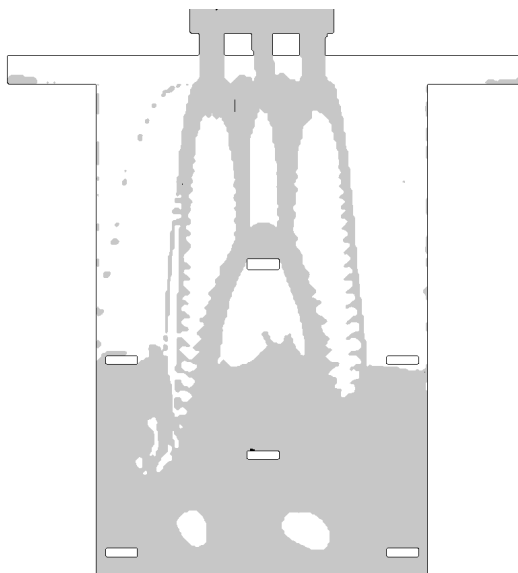


Рис. 3. Заливка через 3 питателя одновременно

Для новой конструкции анода, практически представляющей собой плоский тонкий слиток, целесообразно использовать для заливки один питатель, при условии удаления верхнего стержня, или использовать два крайних питателя.

Такой тонкий анод необходимо заливать как можно быстрее, не рассредоточивая струю на множество потоков, чтобы улучшить выход воздуха из полости слитка, снизить разбрызгивание металла, исключить нарушение сплошности потока в вертикальной плоскости.

Технологически заливка при полной загрузке тигля в 24 т возможна за 14 с, а при остатке металла в 3 т возможна только за 25–30 с, что связано с уменьшением металлостатического давления в тигле.

На рис. 4 хорошо видно, как происходит разделение струи на части вследствие наличия горизонтальных стержней под изоляторы.

Особенно негативное влияние оказывает верхний центральный стержень под изолятор, изначально дробящий поток металла. Отверстия для изоляторов, с позиции литья, сконструированы неправильно, так как их большая горизонтальная протяженность и расположенность друг под другом препятствует равномерному заполнению формы металлом и способствует его разбрызгиванию.

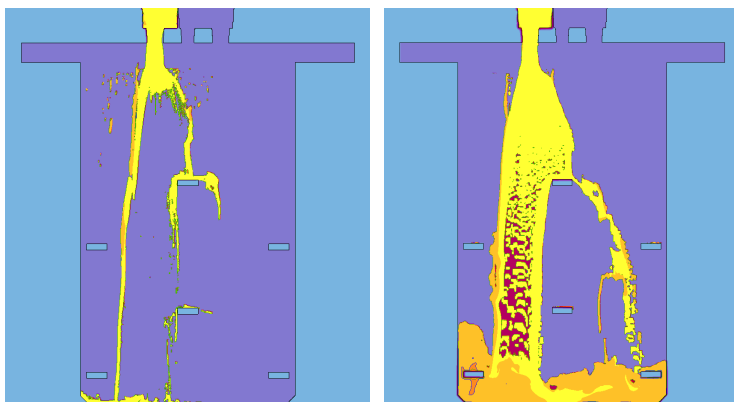


Рис. 4. Течения расплава в различные моменты времени (температурное поле)

Следует иметь в виду, что у жидкого свинца низкое поверхностное натяжение ($435 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$), и поэтому малейшее препятствие дробит струю металла, что приводит к его быстрому затвердеванию и образованию корольков, неспаев, неслитин.

Поэтому потребовалась существенная переделка кокиля и доводка технологии по следующим направлениям:

1. Утонена выборкой металла с наружной поверхности стенка кокиля до 20–25 мм по ГОСТ 16237-70 с формированием на наружной поверхности ребер жесткости высотой 50–60 мм для предотвращения коробления. Это сбалансировало также тепловой режим кокиля и снизило скорость охлаждения заливаемого металла.

2. Обеспечен подогрев кокиля перед заливкой до 180°C электротенами с его наружной поверхности. Рабочая температура кокиля ($180\text{--}190^\circ\text{C}$) по всей высоте контролируется и поддерживается автоматически в заданных параметрах в течение всего производственного цикла.

3. Увеличено число вентиляционных каналов для удаления, при заливке металла, воздуха из рабочей полости кокиля. Они выполнены по всей высоте боковой торцевой части кокиля, а также в его верхней части в виде щелей глубиной 1–2 мм и шириной 10–15 мм. Такая щель была сформирована только в одной из половинок кокиля.

4. Для исключения многочисленного разбрызгивания сплава и в связи с технологической возможностью заливка производится через два крайних питателя. Время заполнения кокиля металлом при $T = 490 \pm 10^\circ\text{C}$ составляет 15–30 с в зависимости от высоты столба металла в плавильном тигле

5. В технологический процесс изготовления свинцово-серебряных анодов введено обязательное систематическое нанесение на рабочую поверхность кокиля разделительного теплоизоляционного покрытия.

6. Для уменьшения усадочных явлений в отливке, повышения жесткости и улучшения выхода воздуха из кокиля на рабочей поверхности анода предлагается восстановить ребра (как в старом варианте), но с меньшей частотой, что, в свою очередь, облегчит очистку анода от шлама, а также увеличит его толщину на 2 мм.

7. В перспективе кокиль для литья анодов рекомендуется делать литым из серых чугунов типа ЧХ1, СЧ20 или высокопрочного ВЧ45 с толщиной стенки 20–25 мм и с ребрами жесткости. В структуре чугуна не должно быть свободного цементита Fe_3C .

8. Повышению качества отливок будет способствовать также подвод металла через стояк снизу (сифоном). Для этого требуется новая конструкция кокиля, когда стояк будет располагаться параллельно вертикальной торцевой стенке отливки, еще лучше под углом из-за большой высоты падения металла при заливке, а заполнение формы расплавом будет происходить с подтопленной струи.

Библиографический список

1. Цветное литье: справочник / Н.М. Галдин, Д.Ф. Чернега, Д.Ф. Иванчук и др.; под общ. ред. Н.М. Галдина. М.: Машиностроение, 1989. 528 с.
2. Специальные способы литья: справочник / В.А. Ефимов, Г.А. Анисович, В.Н. Бабин и др.; под общ. ред. В.А. Ефимова. М.: Машиностроение, 1991. 436 с.

УДК 621.074

И.О. Леушин, М.В. Зотов

Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТРАБОТАННЫХ МОДЕЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИЙ В ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

В условиях современного литейно-металлургического производства вопросы ресурсосбережения приобретают все большую актуальность. Особенно это касается предприятий с многономенклатурным выпуском литья, изготавливаемого различными, в том числе специальными, способами.

Так, например, модельные композиции, применяемые в точном литье, которые после многократного рецикла теряют необходимые технологические свойства и характеристики, чаще всего далее уже нигде не используются и квалифицируются как отходы производства, поскольку технологии их переработки или утилизации достаточно дороги. В настоящее время в промышленности для литья по выплавляемым моделям применяется свыше 300 модельных композиций. В основном используются модельные композиции на основе твердых углеводородов парафиновой группы, синтетических или природных восков, канифоли, легкоплавких растворимых неорганических солей.

В процессе эксплуатации модельные композиции проходят через три состояния:

- жидкое (расплавление, смешивание компонентов и вплавление моделей из оболочковой формы);
- «пастообразное» (заполнение пресс-формы для формирования модели);
- твердое (хранение, сборка моделей в блоки, нанесение суспензии и сушка покрытия).

Модельные композиции должны обладать свойствами, обеспечивающими получение высокого качества моделей и, как следствие, отливок, например гомогенность; минимальную усадку при охлаждении и расширение при нагреве; минимальную зольность; химическую инертность при контакте с материалом пресс-формы и суспензией; высокую жидкотекучесть в «пастообразном» состоянии; низкую стоимость и высокую экологическую безопасность.

Многokrатные переплавы отрицательно сказываются на уровне свойств модельных композиций, существенно ухудшая их. Отработанные композиции отличаются от исходных по составу и свойствам. Однако такие композиции можно рассматривать как весьма перспективный материал.

Чаще всего отработанные модельные композиции (ОМК) представляют собой коллоидно-дисперсные системы с коагуляционным структурообразованием [1]. В них твердая дисперсная фаза (коллоидные частицы твердых углеводородов) образует при нормальных условиях в жидкой дисперсной среде (маслах, нефтепродуктах, углеводородных растворителях) такую структуру, в которой между мицеллами и кристаллами твердых углеводородов существуют вандерваальсовы молекулярные силы взаимодействия, ослабленные в местах контакта тонкими прослойками дисперсионной среды. Коагуляционные структуры, образованные высокодисперсными коллоидными частицами с ослабленными силами сцепления, обладают тиксотропностью, т.е. способностью восстанавливать свою прочность после механического разрушения. Кроме того, они обуславливают наличие у материала пластично-вязкостных, эластических свойств и ползучести (текучести), т.е. способности к медленному развитию значительных остаточных деформаций без заметных разрушений пространственной структуры. Особенно ярко эти свойства ОКМ проявляются в условиях термомеханических нагрузок, характерных для другого специального способа литья – литья под давлением.

Одним из основных технологических материалов, во многом определяющим газовый режим работы пресс-формы литья под давлением, эксплуатационный ресурс ее работы и качество отливок, является смазка [2]. Смазывание в литье под давлением проводят с целью уменьшения усилий, необходимых для удаления отливки из пресс-формы и стержней из отливки, предотвращение образования задиров на отливке, ее приваривание к поверхности рабочей полости формы, заклинивания поршневой пары.

Ключевым свойством смазочного материала в литье под давлением является его смазывающая способность. Оно обеспечивается созданием оптимальной реологической системы в результате сосредоточения сдвиговых деформаций в слое смазочного материала. При этом прочность молекулярных связей, возникающих в смазочном материале, не превышает прочности молекулярных связей соседних слоев. В условиях литья под давлением жидкие и пластичные смазочные материалы, особенно на органи-

ческой основе, не могут в полной мере изолировать контактирующие поверхности друг от друга. Однако фактический контакт микронеровностей трущихся тел будет тем меньше, чем больше несущая способность пленки смазки.

Очевидно, что эффективность смазки зависит от многих факторов, среди которых: требования к отливкам, особенности производства и другие, но главным остается материал смазки, правильность его выбора. Такой выбор основывается на рекомендациях, многократно подтвержденных опытом [3].

Выделим лишь некоторые из них. Так, повышению несущей способности смазки способствуют десорбция молекул контактирующих тел и термодеструкция основы смазки при высоких температурах, высокая текучесть и тиксотропность в условиях механических нагрузок и прилагаемого давления, достаточная вязкость и слоистость структуры для предохранения смазки от смыва. Противозадирные свойства, хорошую смазывающую способность смазочного материала обеспечивает поверхностная физико-химическая активность компонентов смазки.

Даже самые приближенные оценки уже упомянутых ранее ОМК позволяют сделать выводы о том, что они вполне могут быть применены в литье под давлением в качестве основы смазок пресс-форм и поршневой пары. В настоящее время исследование в этом направлении проводится в Нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексеева.

Библиографический список

1. Лакеев А.С., Борисов Г.П. Основы реологии модельных материалов для литья по выплавляемым моделям. Киев: Наук. думка, 1971. 130 с.
2. Белопухов А.К. Технологические режимы литья под давлением. М.: Машиностроение, 1985. 271 с.
3. Зеленов В.Н., Кисиленко Л.Е. Смазки пресс-форм литья под давлением. М.: Машиностроение, 1983. 144 с.

УДК 621.74.045

Г.А. Мустафин, Д.В. Беккель, И.А. ТвердохлебАлтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул**ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТЬ ПОКРЫТИЙ ВЫЖИГАЕМЫХ МОДЕЛЕЙ**

Газопроницаемость является важным технологическим параметром покрытий для моделей из пенополистирола. Она влияет на скорость фильтрации парогазовой фазы и этим определяет уровень противодавления на границе расплав – форма, качество заполнения полости формы и качество отливки. Очень важно целенаправленно в зависимости от условий производства и от конструкции формы управлять газопроницаемостью покрытий.

Контроль газопроницаемости покрытий осуществляли с использованием метода, разработанного в ОАО «НИИЛИТМАШ», который был усовершенствован. Этот метод основан на определении способности слоя краски, нанесенного на металлическую сетку, пропускать через себя воздух.

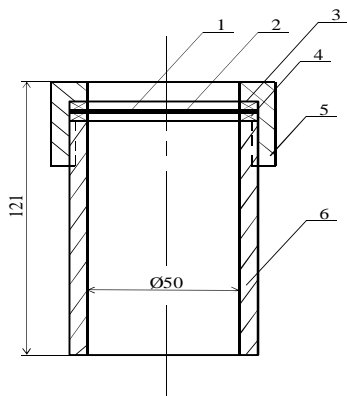


Рис. 1. Приспособление для определения газопроницаемости противопожарных покрытий

Для проведения указанных испытаний изготовили специальное приспособление (рис. 1).

Металлическую сетку 2 устанавливали в специальную гильзу 6 с зажимным кольцом 5 и резиновыми прокладками 3 и 4 для герметичности. На сетку наносили противопожарное покрытие 1. Образующийся на поверхности сетки слой отверждали на воздухе при комнатной температуре в течение 24 ч, затем устанавливали гильзу на стандартный прибор для определения газопроницаемости и проводили измерения ускоренным методом.

Газопроницаемость покрытия изменяли добавлением в рас-

ку POLYTOP FS 3 различных тонкодисперсных материалов: асбест, буроугольная зола с содержанием CaO – 2,5% , технический пироуглерод марки ПУ-324, перлит.

Введение добавок, просеянных через сито с размером ячейки 0,05, влияет на газопроницаемость покрытий следующим образом (рис. 2–5).

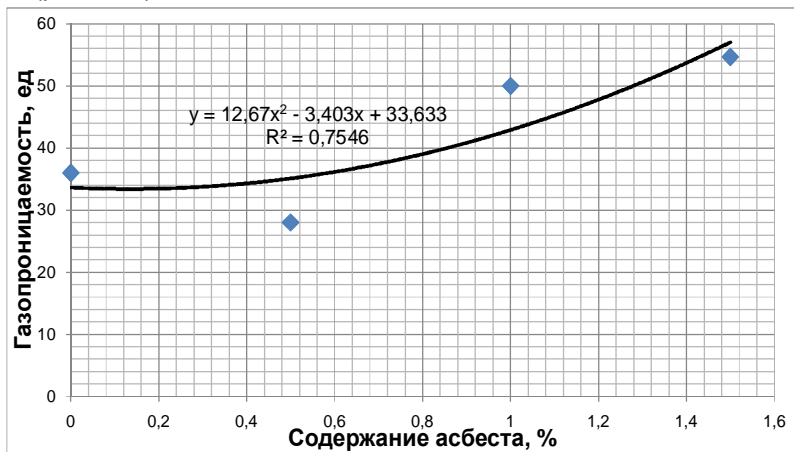


Рис. 2. Газопроницаемость покрытия с добавками асбеста

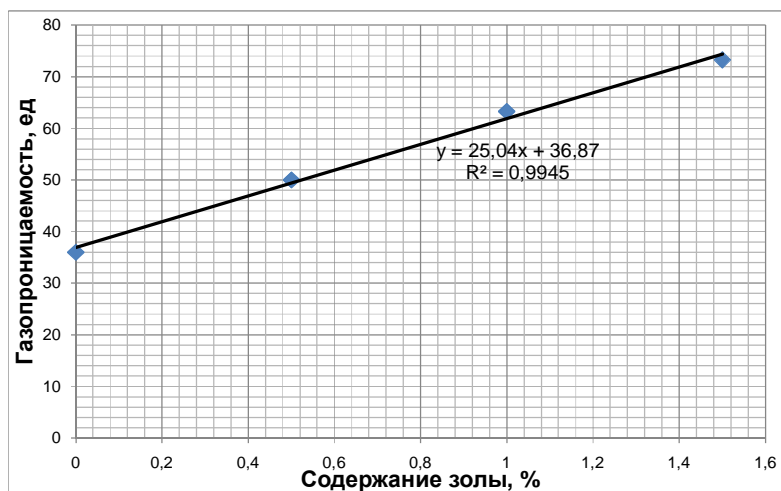


Рис. 3. Газопроницаемость покрытия с добавками золы

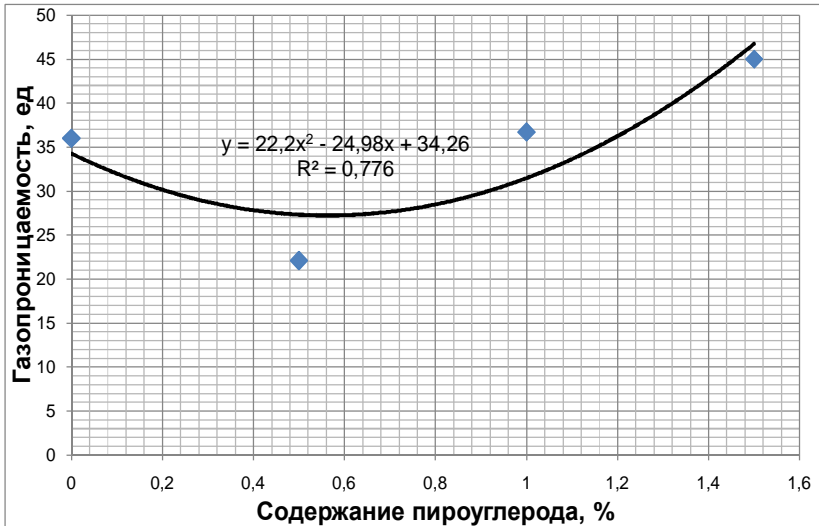


Рис. 4. Газопроницаемость покрытия с добавками пироуглерода

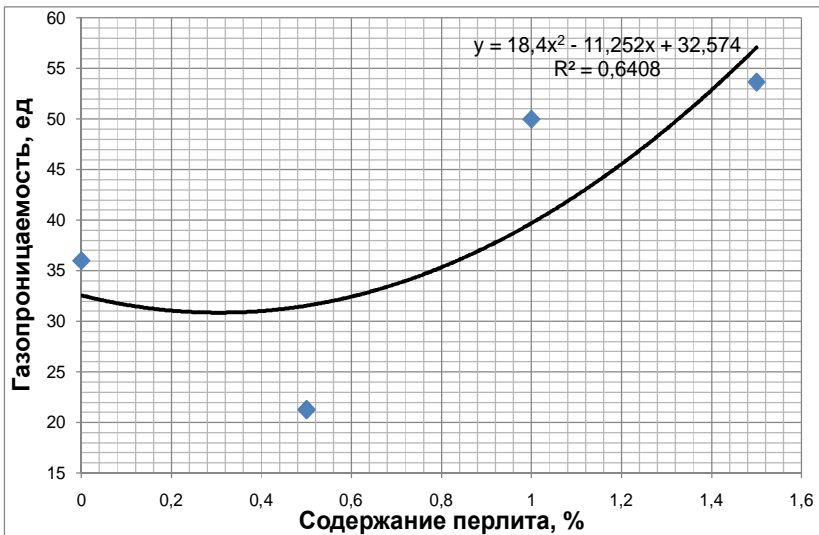


Рис. 5. Газопроницаемость покрытия с добавками перлита

Из приведенных данных видно, что все добавки оказывают существенное влияние на газопроницаемость покрытий. Наиболее сильно (с 35 до 73 ед.) изменяют газопроницаемость добавки золы. Менее заметное влияние на газопроницаемость (с 35 до 45 ед.) оказывает пироуглерод.

Исследование газопроницаемости необходимо проводить параллельно с исследованием прочности на истирание, т. к. вводимые добавки влияют негативным образом на это не менее важное свойство покрытий.

Прочность покрытия к истиранию определяют несколькими способами в зависимости от его состава, способа нанесения и материала модели. В настоящей работе выбран способ по ГОСТ 10772-78, который рекомендует прочность высушенного слоя водных красок оценивать по сопротивлению покрытия истиранию струей кварцевого песка, свободно падающего с высоты 70 мм.

Устройство для определения прочности водной краски представляет собой пластиковую воронку, закрепленную вертикально на штативе. Под воронкой находится емкость, на которой установлено приспособление для закрепления стекла размером 60×120 мм с испытуемым покрытием. На стекло, установленное под углом 45° к вертикали, через сопло воронки подают сухой отмытый кварцевый песок до образования разрушенного участка покрытия диаметром 1,5-2 мм.

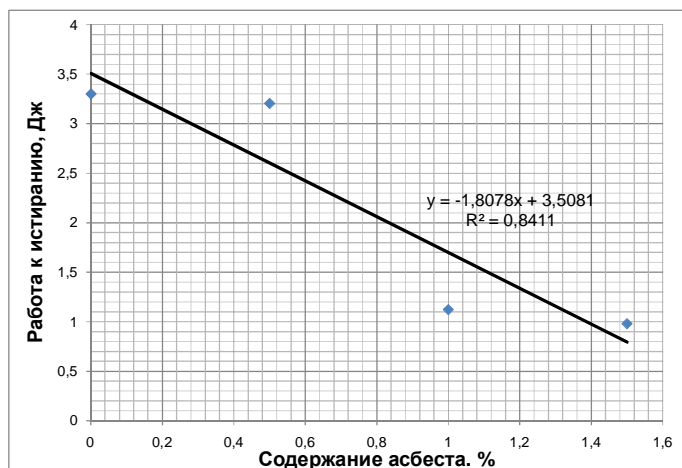


Рис. 6. Работа при истирании покрытий с добавками асбеста

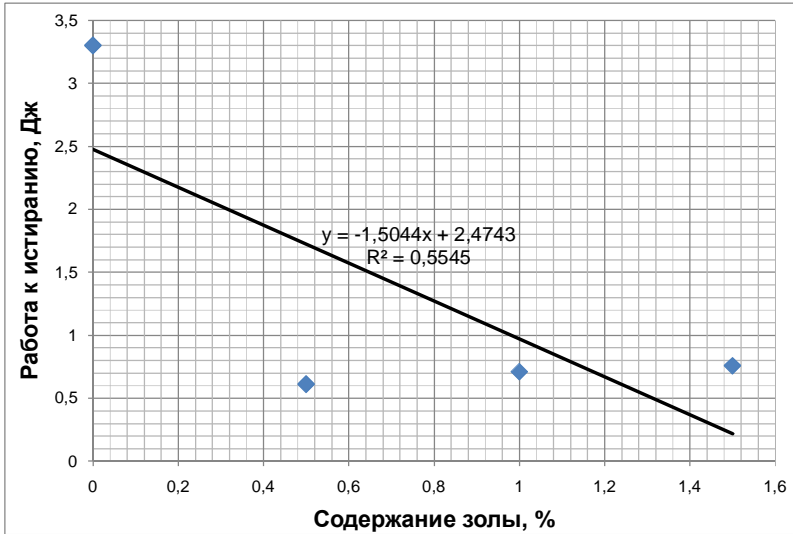


Рис. 7. Работа при истирании покрытий с добавками золы

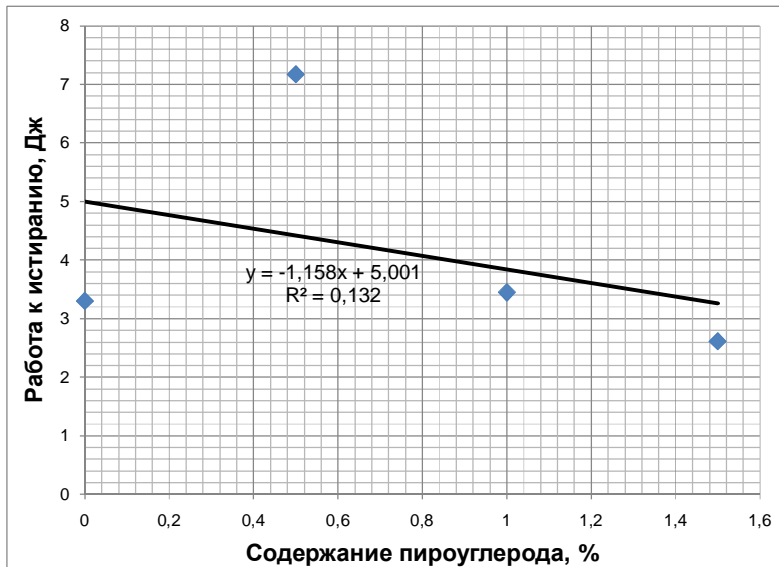


Рис. 8. Работа при истирании покрытий с добавками пироуглерода

Вес песка служит мерой прочности краски на истирание. В процессе испытаний возникла необходимость увеличения высоты падения струи песка на стекло с покрытием. Для получения сравнимых результатов при различных значениях высоты падения принято решение оценивать прочность к истиранию работой. После проведения экспериментов и соответствующей математической обработки получены результаты, приведенные на рис. 6-9 и в таблице.

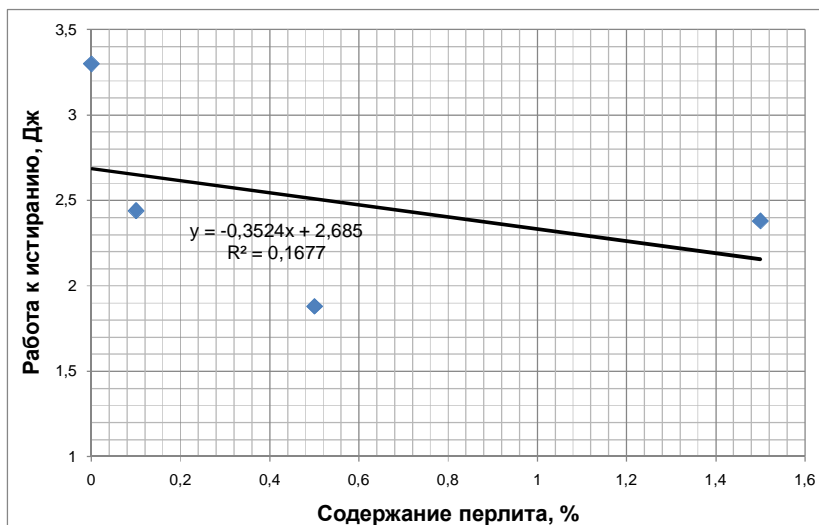


Рис. 9. Работа при истирании покрытий с добавками перлита

Степень влияния добавок на прочность к истиранию

Добавка	Асбест	Зола	Пироуглерод	Перлит
Степень влияния k	-1,8	-1,5	-1,16	-0,35

Сравнительный анализ приведенных результатов исследований показал:

1. Наиболее существенное влияние на газопроницаемость покрытий оказывают добавки золы. Однако при этом происходит значительное падение ($k = -1,5$) истирающей способности. Поэтому для управления газопроницаемостью можно рекомендовать небольшие добавки золы – 0,1-0,3%.

2. Добавки асбеста также увеличивают газопроницаемость и наиболее сильно понижают прочность к истиранию ($k = -1,8$). Поэтому асбест можно использовать в составе покрытий, изменяя его содержание в интервале 0,1-0,5%.

3. Введение в состав покрытий технического пироуглерода оказывает менее существенное влияния на изменение исследуемых свойств от его содержания в принятом интервале варьирования (0-1,5%) по сравнению с другими добавками.

4. Добавки перлита существенно влияют на газопроницаемость и менее заметно из всех исследуемых материалов уменьшают работу на истирание ($k = -0,35$). На основании этого можно сделать вывод, что наиболее приемлемым материалом для управления газопроницаемостью покрытий можно считать тонкодисперсный перлит.

УДК 621.744.3

В.П. Чернов, Е.А. Сафонова

Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ОБОЛОЧКОВЫХ ФОРМ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Оболочковые формы, упрочненные сыпучим огнеупорным материалом, наиболее часто используют в производстве. Оболочковую форму после удаления модели прокаливают и затем формируют в горячий опорный материал. Такую форму можно быстро, с низкими энергозатратами, прокалить, а после затвердевания залитого металла также быстро охладить. В качестве опорных материалов используют кварцевый песок, шамотную крошку, бой форм. Способ используют в массовом производстве отливок небольших размеров.

При изготовлении оболочковых форм с прочным опорным материалом оболочку помещают в опоку, в которую заливают жидкую смесь с цементным связующим или ЖСС. Такой способ при-

меняют в серийном производстве отливок, к которым предъявляются повышенные требования по точности размеров и геометрической точности. Процесс изготовления отливок длительный и энергоемкий, поэтому такой способ используют редко.

Истинно оболочковую форму прокаливают и заливают без опорных материалов, при этом сокращается продолжительность прокаливания форм, упрощается выбивка форм. Такой способ наиболее скоростной и наименее энергоемкий. В направлении совершенствования и расширения использования этого способа ведутся исследовательские работы [1].

При прокаливании оболочки, особенно без наполнителя, ее наружные слои нагреваются до более высоких температур и, естественно, расширяются. Но этому расширению препятствуют внутренние слои, более холодные. В последних возникают растягивающие напряжения, которые при большом перепаде температур – резком нагреве могут превысить предел прочности, и в хрупкой оболочке возникнут микроскопические трещины. Таким образом, причинами разрушения оболочки является температурный перепад по толщине стенки и невозможность термического расширения.

Термостойкость оболочки – важнейшее свойство. Термостойкость (термическая стойкость) – способность керамической оболочки (КО), не разрушаясь, противостоять термическим напряжениям, возникающим в КО в результате изменения ее температуры при нагреве или охлаждении [2].

Повышение термостойкости оболочковых форм в литье по выплавляемым моделям способствует улучшению качества и снижению себестоимости отливок. Высокая стойкость КО позволяет их прокаливать и заливать металлом без использования опорного наполнителя, что повышает производительность за счет сокращения продолжительности прокаливания, а также уменьшает расход тепло- и электроэнергии, сокращает брак отливок по просечкам, керамическим включениям, ужиминам.

Термостойкость зависит от происходящих полиморфных превращений, величины коэффициента термического расширения (КТР), теплопроводности, теплоемкости плотности и структуры материала КО, его упругих свойств, толщины стенки оболочки, а также от формы и размеров КО. Вероятность разрушений КО уменьшается с уменьшением коэффициентов термического расширения, модуля упругости, теплоемкости и разницы температур металла и формы [2].

При изготовлении КО в качестве опорного наполнителя суспензий и обсыпочногo материала часто применяют кварцсодержащие материалы. Однако такие оболочки имеют пониженную термостойкость, так как при прокаливании происходят полиморфные превращения кварца.

При исследовании огнеупорных материалов термоаналитическими методами с целью определения химических реакций и фазовых превращений, происходящих под влиянием тепла в химических соединениях на дериватографе модели **STA 449 F3**, были получены результаты, представленные на рис. 1.

На рисунке показаны фазовые переходы в оболочках на основе связующего ЭТС-40 при их нагреве. Анализируя полученные результаты, следует отметить, что при нагреве оболочек до 100°C происходит испарение влаги, что и отражено на графиках. При анализе доменного шлака отметим, что он претерпевает два полиморфных превращения в процессе. В интервале температур $650\text{--}800^{\circ}\text{C}$ начинается формирование центров кристаллизации, а при $890\text{--}950^{\circ}\text{C}$ завершается его кристаллизация. Следовательно, доменный шлак не подходит в качестве материала для обсыпки при изготовлении точных отливок. Наименьшим же тепловым эффектом обладает разрабатываемый материал на основе отходов производства. Отметим, что эндотермические переходы при нагреве всех материалов происходят в интервале температур $545\text{--}580^{\circ}\text{C}$.

Эти фазовые переходы в любом случае сопровождаются изменением объема, следовательно, в этом интервале желательно уменьшать скорость нагрева, чтобы избежать разрыва оболочек.

На рис. 2 показаны дериватографические кривые при охлаждении тех же образцов. Как видно, экзотермическая реакция происходит примерно в той же температурной области, из чего можно сделать вывод, что фазовые переходы в оболочках связаны не только с материалом обсыпки, но и с составляющими самой суспензии.

Из полученных дериватограмм видно, что фазовые превращения в оболочках, в которых в качестве обсыпки использован кварцевый песок, происходят с наибольшим тепловым эффектом, а на основе разрабатываемого материала из отходов производства – с наименьшим. Следовательно, в последних оболочках возникают наименьшие критические напряжения.

Исходя из того, что формы на основе кварцевого песка имеют пониженную термостойкость, из-за высокого линейного расширения при нагреве и охлаждении керамической формы на dilatометре модели **DIL 402 C** было определено изменение длин ΔL образцов в зависимости от изменения температуры.

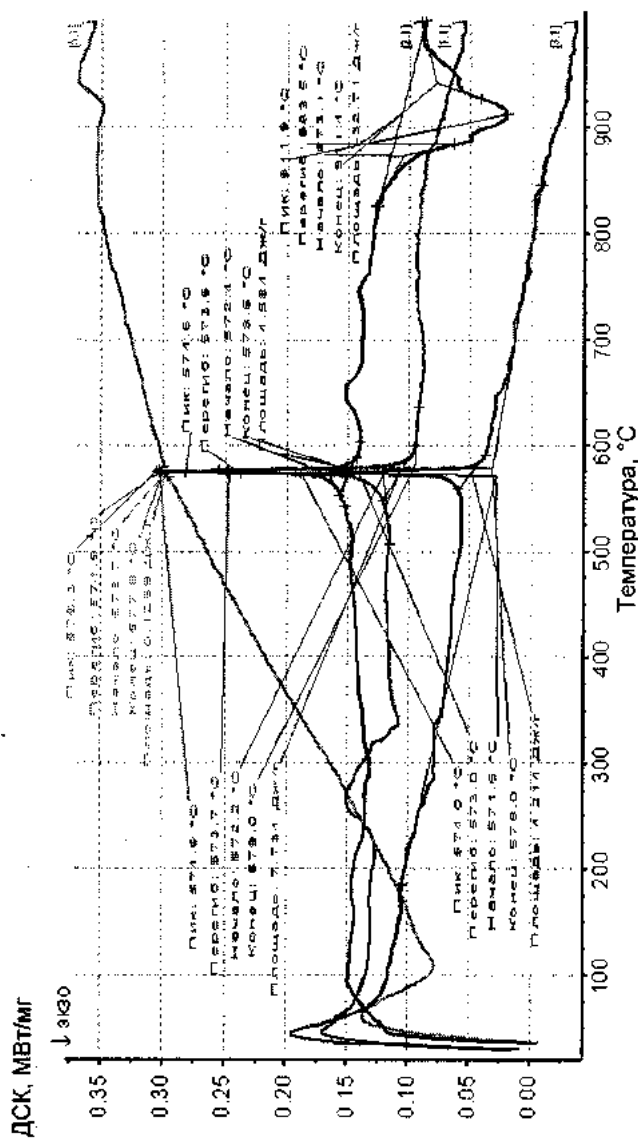


Рис. 1. Фазовые переходы при нагреве оболочковых форм на основе:
 1.1 – кварцевого песка; 2.1 – доменного шлака; 3.1 – золы ТЭЦ;
 5.1 – разрабатываемый материал на основе отходов производства

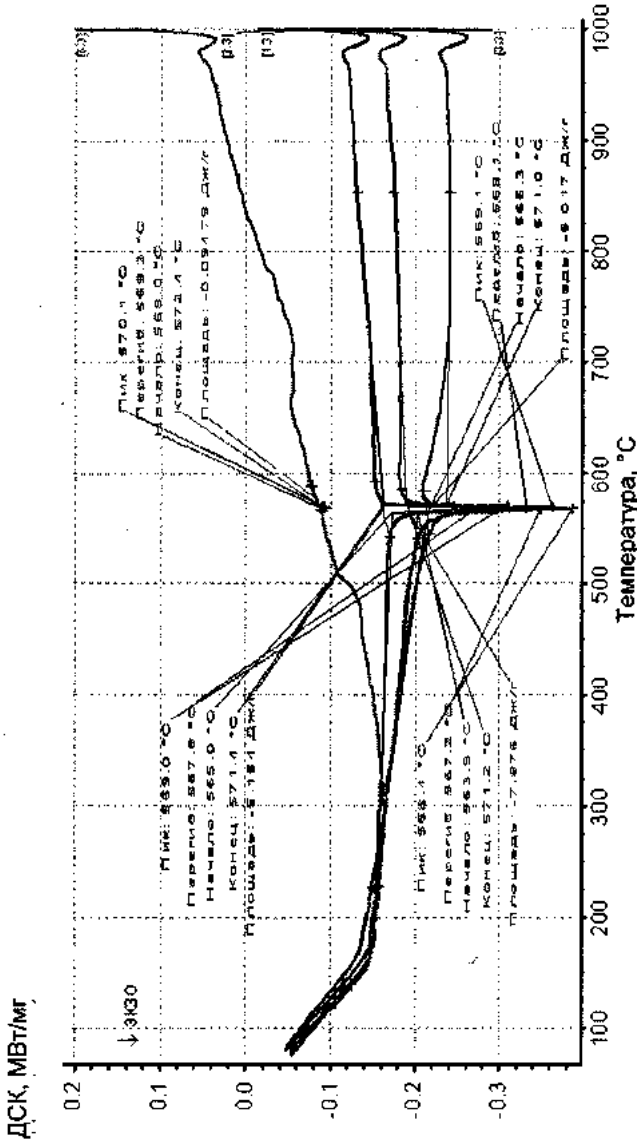


Рис. 2. Фазовые переходы при охлаждении оболочковых форм на основе:
 1.3 – кварцевого песка; 2.3 – доменного шлака; 3.3 – золы ТЭЦ;
 5.3 – разрабатываемый материал на основе отходов производства

Линейное расширение оболочек при нагреве на основе кварцевого песка составляет 1,33%, на основе доменного шлака – 1,10%, золы ТЭЦ – 1,05%, разрабатываемого материала – 0,03%. Заметим, что линейные расширения происходят вблизи области полиморфных превращений кварцевого песка.

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод, что кварцевая форма обладает низкой термостойкостью, она является основным источником брака в литье по выплавляемым моделям. А из анализируемых огнеупорных материалов наиболее подходящими термическими характеристика для изготовления КО является зола ТЭЦ и разрабатываемый материал на основе отходов производства.

Библиографический список

1. Литье по выплавляемым моделям / под ред. Я.И. Шкленника и В.И. Озерова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1971. 436 с.
2. Репях С.И. Технологические основы литья по выплавляемым моделям. Днепропетровск: Лира, 2006. 1056 с.

УДК 621.746.5.047

А.С. Казаков, А.М. Столяров

Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ НЕПРЕРЫВНО-ЛИТОГО СЛЯБА ВСЛЕДСТВИЕ ВНУТРЕННЕГО ОХЛАЖДЕНИЯ РОЛИКОВ МНЛЗ

На первом этапе исследований для оценки степени влияния внутреннего водяного охлаждения роликов криволинейной слябовой МНЛЗ с вертикальным участком ЭСПЦ ОАО «ММК» на теплоотвод от сляба проводился сбор и обработка исходных данных, необходимых для проведения расчётов. Для этого была проконтролирована разливка металла 340 плавков. На этих плавках про-

изводилось опытное измерение температуры поверхности широкой грани в осевой части слябовой заготовки по малому радиусу. Для этого в трёх точках на технологической оси машины были установлены пирометры марки «Термоскоп 800». Измерение температуры производилось в доступных для осуществления этого местах технологической оси машины: на входе в первую роликую секцию (первая точка), на входе в зону загиба (вторая точка) и на выходе из неё (третья точка). Данные о параметрах проконтролированных плавов представлены в таблице.

Данные параметров проконтролированных плавов

Марка стали	Стандарт	Количество плавов, шт.	Ширина сляба, мм	Скорость вытягивания сляба, м/мин	Количество измерений температуры в каждой точке
Ст3сп	ГОСТ 380-2005	30	1270	0,7	1541
S235JR	СТО ММК 209-2006	28		0,8	1410
		27		0,9	1370
20	ГОСТ 1050-80	33	1560	0,7	1643
17Г1С-У	ТУ 14-1-1950-2004	33	1730	0,6	1682
		33		0,7	1682
		33		0,8	1682
17Г1С-У	ТУ 14-1-1950-2004	33	2050	0,7	1670
17Г1С-У	ТУ 14-1-1950-2004	30	2300	0,5	1528
		30		0,6	1528
		30		0,7	1511

Из этой таблицы видно, что разливалась сталь различных марок: Ст3сп (30 плавов – около 9% от общего количества плавов), S235JR (55 плавов – 16%), 20 (33 плавки – 10%) и 17Г1С-У (222 плавки – 65%). Разливка производилась на слябы с одинаковой толщиной 250 мм и разной шириной: 1270, 1560, 1730, 2050 и

2300 мм. Скорость вытягивания слябовых заготовок из кристаллизатора зависела от размеров поперечного сечения и изменялась в диапазоне от 0,5 до 0,9 м/мин с шагом 0,1 м/мин.

На каждой плавке дополнительно фиксировались температура и расходы воды, циркулирующей в каждой из четырёх роликовых секций. Контролировался и химический состав разливаемого металла по данным о содержании элементов в маркировочных пробах.

Анализ исходных данных показал, что температура поверхности широкой грани сляба в его осевой части зависит от скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора и ширины отливаемой заготовки. На рис. 1 показано изменение температуры поверхности сляба, имеющего ширину 1730 мм, по длине зоны вторичного охлаждения при вытягивании заготовки из кристаллизатора с различной скоростью.

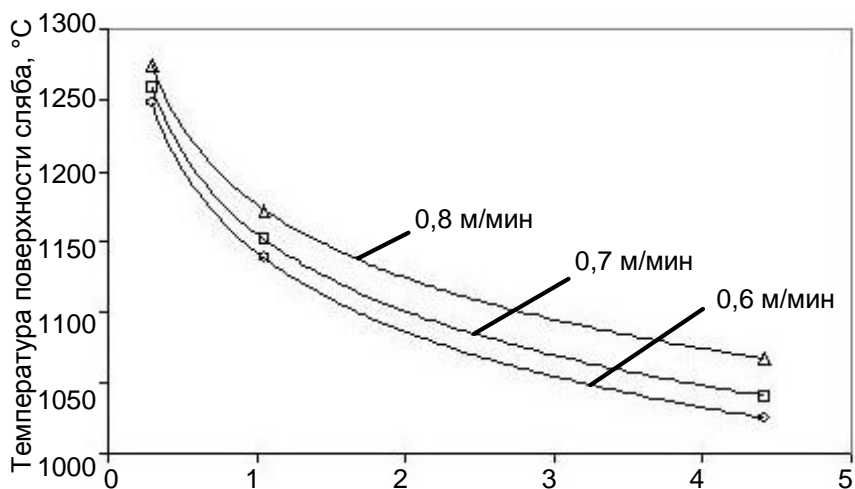


Рис. 1. Изменение температуры поверхности середины верхней грани сляба шириной 1730 мм на начальном участке ЗВО МНЛЗ при вытягивании заготовки из кристаллизатора с разной скоростью

На рис. 2 представлено изменение температуры поверхности заготовок, имеющих различную ширину и вытягиваемых из кристаллизатора с одинаковой скоростью 0,7 м/мин.

На рис. 1 и 2 показаны усреднённые данные замеров температуры поверхности заготовки, произведённые в каждой из трёх точек технологической оси машины. Усреднение осуществлялось по массивам, содержащим от 1370 до 1682 значений (см. таблицу). Линии на этих рисунках проведены в соответствии с результатами аппроксимации усредненных опытных данных степенной функцией.

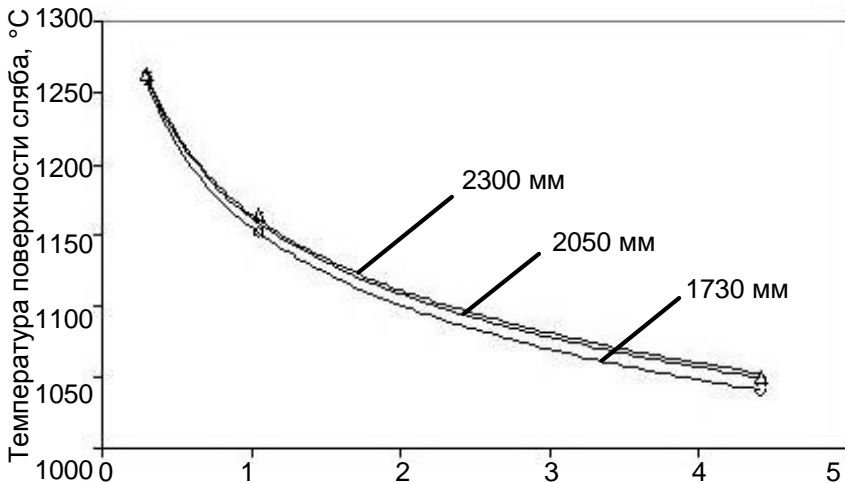


Рис. 2. Изменение температуры поверхности середины верхней грани сляба различной ширины при вытягивании заготовки со скоростью 0,7 м/мин

Из рисунков видно, что температура поверхности отливаемого сляба возрастает с увеличением скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора (см. рис. 1), небольшой прирост также происходит с увеличением ширины заготовки (см. рис. 2).

Следует отметить, что процедура аппроксимации также осуществлялась и при обработке опытных данных на каждой проконтролированной плавке с целью определения конкретных значений температуры поверхности сляба в точках, соответствующих срединам роликовых секций для проведения последующего расчёта.

В качестве характерного примера можно рассмотреть методику определения величин температуры широкой грани сляба при отливке заготовки шириной 1730 мм из стали марки 17Г1С-У со скоростью вытягивания сляба из кристаллизатора, равной 0,7 м/мин. На рис. 3 показаны опытные значения температуры поверхности сляба, полученные при измерениях пирометрами.

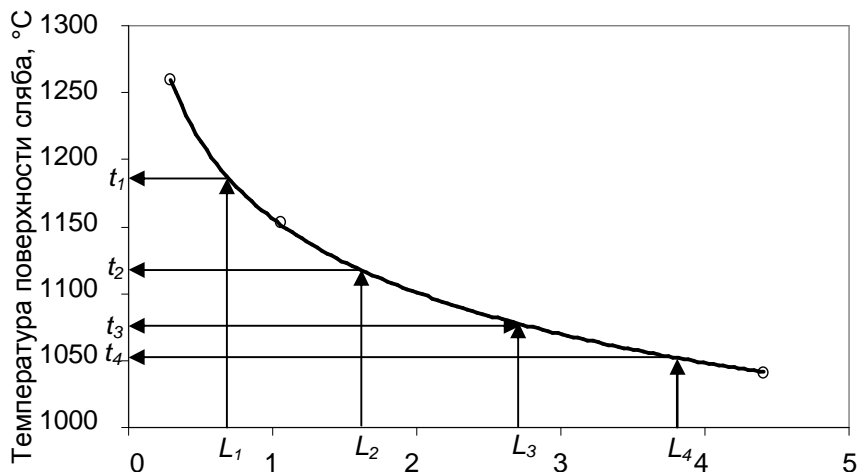


Рис. 3. Определение температуры поверхности заготовки (t_1, t_2, t_3, t_4) в средних точках роликовых секций на различном удалении от начала ЗВО (L_1, L_2, L_3, L_4) с использованием аппроксимирующей степенной функции по опытным измерениям температуры поверхности сляба (круглые маркеры) при разливке стали марки 17Г1С-У

По этим точкам была проведена линия аппроксимирующей функции, характеризующаяся наибольшей величиной коэффициента аппроксимации R^2 и уравнением степенной зависимости

$$t_{нов} = 1155,8 \cdot L^{-0,0704},$$

где $t_{нов}$ — температура поверхности сляба по оси широкой грани, °C;

L — расстояние от начала зоны вторичного охлаждения МНЛЗ, м.

С использованием полученного уравнения для средних точек четырёх роликовых секций, находящихся на расстоянии 0,675; 1,605; 2,705 и 3,805 м от начала зоны вторичного охлаждения машины (на рисунке эти значения имеют параметры L_1 , L_2 , L_3 , L_4), были рассчитаны значения температуры поверхности сляба t_1 , t_2 , t_3 , t_4 , равные соответственно 1188; 1118; 1078 и 1052 °С. Полученные данные были использованы в последующих расчётах.

Аналогичная процедура была осуществлена при обработке данных каждой из 340 проконтролированных плавок.

УДК 621.746.5.047

А.С. Казаков, А.М. Столяров

Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ НЕПРЕРЫВНО-ЛИТОГО СЛЯБА ВСЛЕДСТВИЕ ВНУТРЕННЕГО ОХЛАЖДЕНИЯ РОЛИКОВ МНЛЗ

Криволинейная слябовая МНЛЗ с вертикальным участком ЭСПЦ ОАО «ММК» является уникальной машиной вследствие использования внутреннего охлаждения поддерживающих роликов зоны вторичного охлаждения (ЗВО) [1 – 3]. Весьма важной, но неизвестной является информация об относительном количестве тепла, теряемого отливаемой заготовкой с циркулирующей внутри роликов водой. Для оценки степени влияния внутреннего охлаждения роликов на суммарную величину теплоотвода от слябовой заготовки может быть использован расчётный метод.

Исследование проводилось в верхней части ЗВО, включающей в себя первую секцию роликов и зону загиба сляба, состоящую из трёх роликовых секций по пять роликов в каждой секции. Схема исследуемого участка представлена на рисунке.

Выбор данного участка зоны вторичного охлаждения для проведения исследования обусловлен тем, что на нём осуществляется поточный контроль расходов воды, подаваемой внутрь роликов для их охлаждения, а также температуры воды на входе и

выходе из системы охлаждения. В нижерасположенных роликовых секциях данные параметры не контролируются.

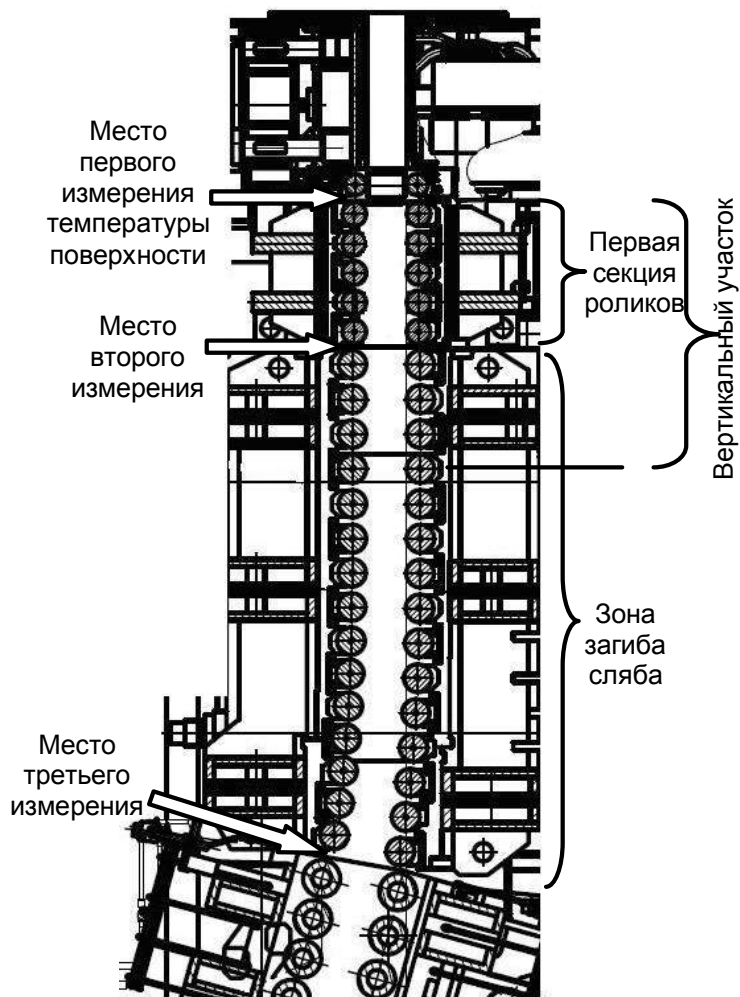


Схема исследуемого участка зоны вторичного охлаждения криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком

Первая секция роликов и зона загиба имеют протяжённость 760 и 3354 мм соответственно. Вертикальный участок ЗВО машины состоит из пяти роликов первой секции, имеющих диаметр 155 мм, и четырёх верхних роликов зоны загиба с диаметром 180 мм. Общая протяжённость вертикального участка ЗВО составляет 1645 мм. Остальные одиннадцать роликов зоны загиба имеют диаметр 180 мм.

Расчёт осуществляется последовательно для каждого из четырёх участков зоны вторичного охлаждения МНЛЗ: первой роликовой секции, составляющей верхнюю часть вертикального участка ЗВО машины; первого участка зоны загиба из пяти роликов – второй роликовой секции, второго участка зоны загиба из пяти роликов – третьей роликовой секции и третьего участка зоны загиба из пяти роликов – четвёртой роликовой секции. Расчёт ведётся для середины каждого участка.

Расчёт производится в следующей последовательности:

1. Вычисляется продолжительность времени от начала процесса кристаллизации заготовки по формуле

$$\tau_i = \frac{L_{i\text{cp}}}{v}, \quad (1)$$

где τ_i – продолжительность времени от начала кристаллизации заготовки, мин;

$L_{i\text{cp}}$ – расстояние от поверхности жидкого металла в кристаллизаторе до середины i -го участка зоны вторичного охлаждения, м;

v – величина скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора, м/мин.

3. Определяется толщина слоя затвердевшего металла с использованием формулы

$$\xi_i = k_3 \cdot 10^{-3} \sqrt{\tau_i}, \quad (2)$$

где ξ_i – толщина слоя затвердевшего участка в середине i -го участка зоны вторичного охлаждения, м;

k_3 – величина коэффициента затвердевания металла, мм/мин^{0.5}.

3. Подсчитывается плотность теплового потока от жидкой сердцевины к поверхности заготовки через слой затвердевшего металла

$$q_{\text{вн}i} = \lambda \frac{(t_{\text{ликв}} - t_{\text{нов}i})}{\xi_i}, \quad (3)$$

где $q_{\text{вн}i}$ – плотность теплового потока от жидкой сердцевины к поверхности заготовки, Вт/м²;

λ – коэффициент теплопроводности затвердевшего металла, Вт/(м·град);

$t_{\text{ликв}}$ – температура ликвидус стали, °С;

$t_{\text{нов}i}$ – температура поверхности широкой грани по оси заготовки, °С.

4. Температура поверхности широкой грани по оси заготовки находится по степенной зависимости, получаемой в результате аппроксимации опытных значений замеров температуры в трёх точках зоны вторичного охлаждения машины при разливке металла каждой плавки

$$t_{\text{нов}i} = a_1 \cdot L_{i\text{зео}}^{-a_2}, \quad (4)$$

где a_1 – величина коэффициента регрессии;

a_2 – величина степени полученной зависимости;

$L_{i\text{зео}}$ – расстояние от начала зоны вторичного охлаждения машины до середины i -го участка этой зоны, м.

5. В формуле (3) температура ликвидус определяется из выражения

$$t_{\text{ликв}} = 1539 - 73[C] - 12[Si] - 3[Mn] - 30[S] - 28[P] - 1[Cr] - 3,5[Ni] - 7[Cu] - 3[Al] - 3[Mo], \quad (5)$$

где 1539 – температура кристаллизации чистого железа, °С;
73; 12; 3; 30; 28; 1; 3,5; 7; 3; 3 – величины снижения температуры кристаллизации железа при введении в него 1%

соответственно углерода, кремния, марганца, серы, фосфора, хрома, никеля, меди, алюминия и молибдена, °С;

[C], [Si], [Mn], [S], [P], [Cr], [Ni], [Cu], [Al], [Mo] – содержание в стали соответственно углерода, кремния, марганца, серы, фосфора, хрома, никеля, меди, алюминия и молибдена, %.

6. Площадь поверхности заготовки, через которую проходит тепловой поток от жидкой сердцевины заготовки, вычисляется по формуле

$$F_i = 2(a + b - 4\xi_i)L_i, \quad (6)$$

где F_i – площадь поверхности заготовки, м²;

a, b – толщина и ширина отливаемой заготовки, м;

L_i – длина i -го участка ЗВО, м.

7. Определяется величина теплового потока от жидкой сердцевины к поверхности заготовки через слой затвердевшего металла

$$Q_{\text{вн}i} = q_{\text{вн}i} \cdot F_i. \quad (7)$$

8. Количество тепла, теряемого заготовкой с охлаждающей водой, циркулирующей внутри роликов, подсчитывается по формуле

$$Q_{\text{рол}i} = (V_{\text{в}i} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}} \cdot \Delta t_{\text{в}}) / 3,6, \quad (8)$$

где $Q_{\text{рол}i}$ – количество тепла, теряемого заготовкой на нагрев воды, циркулирующей в роликах, Вт;

$V_{\text{в}i}$ – расход воды, подаваемой внутрь роликов, м³/ч;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, кг/м³;

$c_{\text{в}}$ – удельная теплоёмкость воды, кДж/(кг·град);

$\Delta t_{\text{в}}$ – величина перепада температуры воды в роликах, °С.

9. Вычисление относительного количества тепла, отводимого от непрерывно-литой заготовки водой, используемой для внутреннего охлаждения роликов, производится по формуле

$$\eta_i = \frac{Q_{\text{рол } i}}{Q_{\text{вн } i}} \cdot 100, \quad (9)$$

где η_i – доля тепла, теряемого заготовкой с циркулирующей внутри роликов водой, %.

При проведении расчётов было принято допущение, что температура поверхности по оси обеих широких граней сляба по малому и большому радиусам МНЛЗ является одинаковой.

В расчётах были приняты следующие значения параметров:

– величина коэффициента затвердевания металла

$$k_3 = 25 \text{ мм/мин}^{0,5};$$

– величина коэффициента теплопроводности затвердевшего металла

для углеродистой стали $\lambda=30 \text{ Вт/(м·град)}$,

для легированной стали $\lambda=28 \text{ Вт/(м·град)}$;

– величина удельной теплоёмкости воды

$$c_6=4,187 \text{ кДж/(кг·град)}.$$

Вышерассмотренная методика была использована для расчёта относительного количества тепла, теряемого слябовой непрерывн-олитой заготовкой с циркулирующей внутри роликов водой.

Библиографический список

1. Ввод в эксплуатацию новой слябовой МНЛЗ № 5 с вертикальным участком в электросталеплавильном цехе ОАО «ММК» / В.Ф. Дьяченко, Д.В. Юречко, А.Б. Великий и др. // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2007. №2. С. 32 – 34.
2. Освоение технологии непрерывной разливки на слябовой МНЛЗ № 5 с вертикальным участком в электросталеплавильном цехе ОАО «ММК» / Д.В. Юречко, И.М. Захаров, А.С. Казаков, Ю.М. Желнин // Совершенствование технологии в ОАО «ММК»: сб. тр. Центральной лаборатории ОАО «ММК». Вып. 11. Магнитогорск, 2007. С.110 – 113.
3. Совершенствование режимов вторичного охлаждения слябовой заготовки на криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком / Д.В. Юречко, А.С. Казаков, В.П. Филиппова и др. // Металлургия стали. Проблемы и решения: материалы III Конгресса металлургов Урала: Челябинск: ООО «Изд-во Рекпол». 2008. С.66 – 68.

УДК 519.8:621.74

А.С. Чёлушкин, Р.Н. Васильева

Уфимский государственный авиационный
технический университет, Башкортостан

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА НАПРАВЛЕННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ С УЧЕТОМ КЛАСТЕРНОЙ МОДЕЛИ ЖИДКИХ РАСПЛАВОВ

Газотурбинные двигатели (ГТД) нашли широкое применение в летательных аппаратах военного и гражданского назначения, морских и наземных транспортных средствах, в качестве энергетических и производственных установок.

Совершенствование ГТД в значительной степени связано с совершенствованием литых (охлаждаемых) лопаток, которое заключается в повышении жаропрочности сплава, повышении геометрической точности лопаток, совершенствовании их структуры. Наблюдается очевидная тенденция перехода от лопаток с равноосной структурой к направленной и затем к монокристаллической. Рост доли монокристаллических лопаток в ГТД растёт от поколения к поколению. Это объясняется существенным повышением механических свойств монокристаллических деталей как при комнатных температурах, так и при температурах 800-1000°С. Следовательно, совершенствование структуры монокристаллических деталей является актуальным вопросом.

Лопатки, как известно, получают литьём. Процесс получения литых лопаток, и в особенности монокристаллических, длительный, сложный и дорогостоящий. Поэтому прямые производственные эксперименты проводят только в особых случаях. Более целесообразно использовать метод математического моделирования. Метод включает в себя разработку физических и математических моделей, численных методов и программного обеспечения, проведение численного эксперимента с привлечением средств вычислительной техники, результаты которого используются как в исследовательских, так и в практических целях.

В технике и технологии преимущества метода математического моделирования очевидны: оптимизация проектирования, сокращение затрат на отработку, повышение качества продукции, уменьшение эксплуатационных расходов и т.д. Математическое

моделирование существенно преобразует сам характер научных исследований, устанавливая новые формы взаимосвязи между экспериментальными и математическими методами.

В основе математических моделей литейных процессов лежат уравнения теплопереноса: уравнения теплопроводности, Навье-Стокса, диффузии, кинетические уравнения фазовых превращений и т. д. Расчетная область включает не только объем, занимаемый расплавом, но также и формообразующую среду с различными граничными и начальными условиями.

Общей особенностью большинства промышленных процессов получения монокристаллических лопаток является отвод тепла в строго определенном направлении. Реализуется этот процесс чаще всего погружением заливной оболочки (формы) в жидкометаллический охладитель. При этом в зоне, предшествующей границе погружения, поддерживается постоянная температура порядка температуры заливки. В зоне ниже границы погружения стараются удерживать постоянную температуру, равную исходной температуре жидкого охладителя. Такая схема позволяет в первом приближении рассматривать температурное поле как одномерное, разделив его на качественно определенные зоны.

При затвердевании традиционно принято рассматривать три зоны: жидкую, зону кристаллизации и затвердевшую. Однако растущие требования к совершенству кристалла, с одной стороны, и теоретические разработки в области жидких металлов, с другой стороны, позволяют включить в анализ кристаллизации и четвертую зону – зону кластеров (рис. 1).

На схеме показано:

I зона. Зона перегретого расплава условно характеризуется равномерным концентрационным распределением примесей по всему объему. В зоне I отсутствует твердая фаза.

II зона. В соответствии с кластерной моделью жидких расплавов [1] основными структурными составляющими жидкости считаются отдельные разобщенные кластеры, окруженные разупорядоченной зоной, обладающей хаотической атомной структурой. По мере образования и роста кластера, его свойства изменяются от чисто молекулярных к макроскопическим свойствам массивных тел. Следовательно, количество и размеры этих частиц в значительной мере определяют физико-химические свойства расплава в процессе его затвердевания. Характерный размер кластера ($r_{кп}$) имеет нанопорядок, который не превышает размеры критического зародыша. По данной модели плавление сопровождается распадом твердого тела на кластеры, кристаллизация – ассоциацией кластеров в зародыши и далее в кристаллы [2].

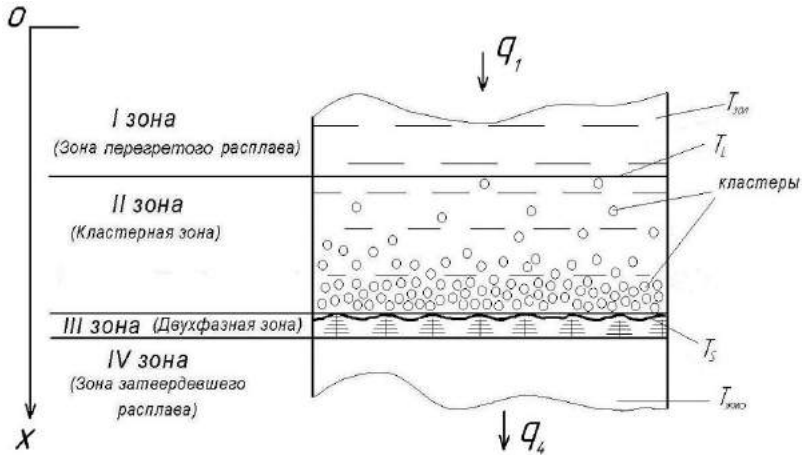


Рис. 1. Схема зон при направленном теплоотводе

На начальной стадии кристаллизации происходит флуктуационное зарождение и рост небольших кластеров (зона II). Кластеры движутся в реальном пространстве; при достаточно глубоком заходе в метастабильную область в матрице начинают возникать устойчивые кластеры, которые, вырастая до определенного размера, уносятся из кластерной зоны под действием сил тяжести и плавучести (дрейф частиц) или в результате диффузии, причем скорость дрейфа тем выше, чем массивнее кластер. В дальнейшем кластер может осаживаться на поверхность возникшего ранее кристалла или в результате последующего роста превратиться в зародыш кристалла (последнее недопустимо при литье монокристаллов).

Осаждение может реализовываться в двух вариантах (рис.2): если плотность образующихся кластеров больше плотности расплава, то под действием гравитации кластеры будут дрейфовать к поверхности роста, скорость осаждения в этом случае будет выше, а структура образующегося монокристалла будет менее совершенной; если же плотность образующихся кластеров меньше плотности расплава, то кластеры будут дрейфовать от поверхности роста, и в качестве единиц роста будут преобладать кластеры с малым числом частиц либо атомы. Скорость осаждения во втором случае будет низкой, а структура растущего монокристалла будет однородной высокодисперсной и иметь высокую степень совершенства [1].

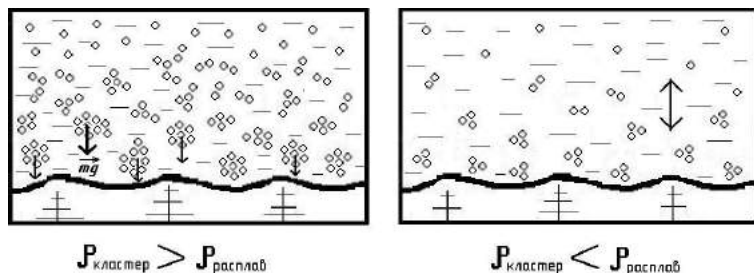


Рис. 2. Осаждение кластеров

В настоящее время этот процесс изучен недостаточно и в производственных условиях не управляется. Поэтому в ряде случаев между осями дендритов при кристаллизации возможны микросадочные раковины, которые приводят к снижению плотности и, следовательно, к снижению свойств всей отливки.

Научившись управлять вышеуказанным явлением, можно создать такие условия, при которых рост монокристалла будет происходить в основном за счет атомов или малоатомных кластеров, что, очевидно, должно приводить в последнем случае к структурно более совершенным слоям как в пределах каждого слоя, так и в пределах отливки в целом.

III зона. В двухфазной зоне происходит послойное наращивание твердой фазы. Макро- и микроструктура отливки будет наиболее благоприятной, если фронт кристаллизации сделать плоским, для получения которого необходимо обеспечение максимального температурного и минимального концентрационного градиентов.

Высокий градиент температуры обеспечивает высокие скорости отвода тепла с фронта кристаллизации, небольшую высоту твердо-жидкой зоны и, как следствие этого, малый дендритный параметр λ , который описывается соотношением Брудифлемингса [3]:

$$\lambda = A(G_T R)^{-n}.$$

Коэффициент A в этом выражении пропорционален интервалу кристаллизации: $A \sim \Delta T$, а показатель степени n может принимать значения в диапазоне 0,25–0,5 в зависимости от типа фаз (дендритов, эвтектик и т.д.). Исходя из этого соотношения, можно увеличить скорость охлаждения и, следовательно, уменьшить размер структурных составляющих также за счет повышения температурного градиента на фронте кристаллизации.

Высокая дисперсность микроструктуры монокристаллов жаропрочных сплавов обуславливает ее структурно-фазовую однородность и высокий уровень эксплуатационных характеристик. Зачастую значение дендритного параметра λ используют в качестве одной из основных структурных характеристик монокристаллов сложнелегированных жаропрочных никелевых сплавов. Поэтому развитие методики получения монокристаллических изделий из жаропрочных сплавов происходит, в основном, в направлении повышения градиента температуры на фронте кристаллизации.

IV зона представляет собой уже затвердевший металл, через который происходит теплоотвод.

Математическое описание такого процесса направленной кристаллизации приводится в табл. 1. Эта система должна быть дополнена уравнениями для граничных условий (табл. 2).

Таблица 1
Основные уравнения, описывающие процессы, происходящие в каждой зоне

Зона	Уравнение баланса для температуры	Уравнение баланса для концентрации
I Зона перегретого расплава	$\frac{\partial T_1}{\partial t} = a_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2}$	$\frac{\partial c_1}{\partial t} = 0$
II Кластерная зона	$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + 4\pi \rho q \int_{a_0}^{\infty} da a^2 V(a) f$	$\frac{\partial n}{\partial t} = D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} + 4\pi(1-\nu) n \int_{a_0}^{\infty} da a^2 V(a) f$
III Двухфазная зона	$\frac{\partial T_3}{\partial t} = a_3 \frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} + \frac{L_3 \rho_4}{c_3 \rho_3} \frac{\partial \psi}{\partial t}$	$\frac{\partial c_3}{\partial t} = D \frac{d^2 C_3}{dx^2}$
IV Зона затвердевшего расплава	$\frac{\partial T_4}{\partial t} = a_4 \frac{\partial^2 T_4}{\partial x^2}$	$\frac{\partial c_4}{\partial t} = 0$

Граничные условия

Граница I-II	$-\lambda_1 \frac{\partial T_1(x_1, t)}{\partial x} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2(x_1, t)}{\partial x}$ $T_1(x_1, t) = T_2(x_1, t) = T_L$
Граница II-III	$-\lambda_2 \frac{\partial T_2(x_2, t)}{\partial x} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3(x_2, t)}{\partial x} + L\rho_4[1-\psi(x_4, t)] \frac{\partial x_4}{\partial t}$ $T_2(x_2, t) = T_3(x_2, t) = T_L$
Граница III-IV	$-\lambda_3 \frac{\partial T_3(x_3, t)}{\partial x} = -\lambda_4 \frac{\partial T_4(x_3, t)}{\partial x}$ $T_3(x_3, t) = T_4(x_3, t) = T_S$

На основе сформированной аналитической модели построена численная модель, которая позволяет определить распределение температуры и примесей по высоте отливки (или зоны), определить скорость роста кристалла и скорость продвижения фронта затвердевания. Это, в свою очередь, позволяет определить режимы, при которых в отливке будет формироваться поли- или монокристаллическая структура с возможным регулированием градиента температуры и концентрации на фронте кристаллизации. В совокупности численная модель позволит проводить необходимые численные эксперименты и совершенствовать на этой основе технологический процесс литья монокристаллических отливок.

Библиографический список

1. Мирзаде Ф.Х. Самоорганизация пространственно неоднородных структур при объемной кристаллизации полидисперсных систем // Журнал технической физики. 2006. Т. 76. Вып. 9.
2. Некоторые особенности кластерной модели металлических расплавов / Деев В.Д., Цецорина С.А., Селянин И.Ф., Приходько О.Г. // Ползуновский альманах. 2008. №3.
3. Панкратов В.А. Получение оптимальной структуры жаропрочных сплавов при высокоскоростной направленной кристаллизации // Литейное производство. 2007. №2.

УДК 621.74

**Ф.Ф. Кильмухаметов, В.В. Лазарев,
С.Н. Сазонов, Е.Ф. Шайхутдинова**

Уфимский государственный авиационный
технический университет, Башкортостан

ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ В МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Технический прогресс в области авиадвигателестроения предъявляет все более жесткие требования к качеству литых деталей, к их физическим и химическим свойствам.

В литейном производстве свойства получаемых отливок зависят от различных технологических параметров: температуры заливки сплава, материала заливаемой формы и т.д. Размер, форма и ряд физических и технологических характеристик отливки зависят от свойств литейной формы. Поэтому выбор и применение той или иной литейной формы является основополагающим в технологии изготовления отливок.

В настоящее время в литейном производстве применяются литейные формы, которые непосредственно контактируют с отливкой (рис. 1, а). В то же время ведутся активные исследования, которые направлены на уменьшение влияния формы на качество отливки, в частности применение магнитного поля в качестве формы.

С точки зрения физики магнитное поле представляет собой некий особый вид материи, для которого нет понятий температуры, прочности, твердости и т.д. Но, с другой стороны, свойства, присущие магнитному полю, по тому, как оно себя обнаруживает в пространстве, являются свойствами материальных тел.

Известно, что все вещества на земле делятся на диамагнетики, ферромагнетики и парамагнетики. Различие между ними заключается в характере воздействия на них магнитного поля.

Сила, с которой магнитное поле действует на них, зависит от значения и знака магнитной восприимчивости.

Однако магнитное поле воздействует на ферромагнетики при напряженности ≈ 10 Тл, а на пара- и диамагнетики необходимо поле в десятки раз мощнее.

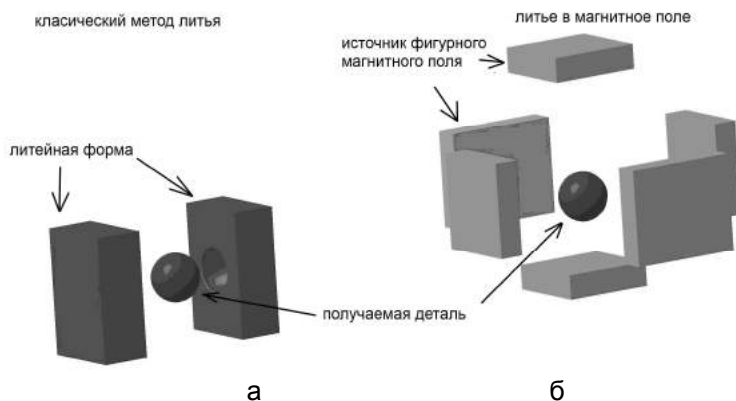


Рис. 1. Схема классического метода литья (а) и литья в магнитное поле (б)

Суть метода литья в форму из фигурно-напряженных магнитных полей состоит в том, чтобы создать магнитное поле, в котором напряженность в отдельных точках имела определенное значение и формировала форму некой необходимой детали. То есть заменила бы литейную форму, исключая контакт материала формы со сплавом. Расплав, удерживаясь в магнитном поле, плавится или вливается в расплавленном состоянии, формируется его форма и происходит затвердевание (рис. 1, б).

Литейное производство отливают различные металлические сплавы, которые имеют положительный знак магнитной восприимчивости, то есть они втягиваются в магнитное поле.

Согласно теореме Ирэншоу–Лагранжа нельзя создать статически устойчивую систему из любой комбинации зарядов и магнитного поля.

Существуют два метода, позволяющие создать равновесную систему:

- применение динамической системы;
- применение диамагнетиков.

Первый метод в данном случае неприемлем, так как при этом появляются изменения магнитного потока и, как следствие, токи Фуко, т.е. эти факторы будут мешать управлению процессом плавки и заливки сплава.

Второй метод возможно осуществить, если применить диамагнетики в качестве промежуточного элемента между полем и

расплавом. В данном случае расплав будет отталкиваться от диамагнетика и притягиваться к полю. В свою очередь диамагнетик будет отталкиваться от поля и от расплава (рис.2).

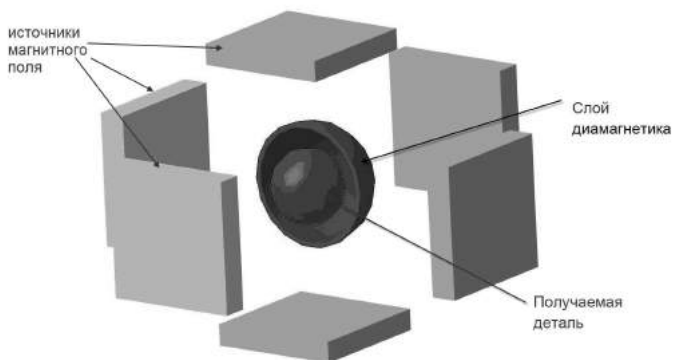


Рис. 2. Схема литья в магнитное поле с применением диамагнетика в качестве промежуточного слоя

Для левитации любого диамагнетика достаточно, чтобы выполнялось условие

$$B \frac{dB}{dZ} \geq 1000 \frac{Tл^2}{м},$$

где B – индукция, Тл;

$\frac{dB}{dZ}$ – градиент индукции.

По данным японских исследователей, для левитации диамагнетиков в магнитном поле, создаваемом водоохлаждаемыми гибридными магнитами, достаточно напряженности порядка 35–40 Тл, то есть комбинированная система литья в магнитное поле менее энергоемка по сравнению с двойными системами.

Таким образом, реализовав данный проект, можно будет отказаться от классических методов литья и получать отливки с очень низкой шероховатостью и с практически любой структурой без каких-либо нежелательных воздействий формы в процессе заливки, а главное, сократить время получения готовой отливки до времени расплавления и охлаждения, сокращая время создания формы до создания математической 3D-модели.

Раздел 6

САПР И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

УДК 004.9:621

Е.С. Гайнцева, А.С. Горюхин

Уфимский государственный авиационный
технический университет, Башкортостан

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ CALS-ТЕХНОЛОГИИ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Современные промышленные информационные технологии базируются на концепции единого информационного пространства/среды (объединения информационных ресурсов) промышленного предприятия. Эта концепция получила за рубежом название CALS (Continuous Acquisition and Life Cycle Support): «...стратегия последовательного преобразования существующего процесса в единый компьютеризированный и информационно-интегрированный процесс управления жизненным циклом».

Одним из главных направлений интенсификации и повышения экономической эффективности производства является широкое внедрение автоматизированных систем на базе ЭВМ в сферу проектирования изделий, технологических процессов и оборудования.

Благодаря системному внедрению в промышленность современных способов компьютерного проектирования и моделирования продукции достигается качественно новый уровень производства и производственных отношений: существенно сокращаются сроки разработки, подготовки производства и выпуска продукции; сокращаются трудоёмкость, материалоёмкость, энергоёмкость и потребность в других видах ресурсов, необходимых для разработки и производства продукции; появляется возможность расширения ассортимента выпускаемой продукции; обеспечиваются условия для повышения уровня сложности и качества выпус-

каемой продукции; повышаются доля творческой составляющей в работе и квалификация персонала.

Использование CALS-технологий обеспечивает повышение технико-экономической эффективности литейного производства за счет сокращения сроков и снижения трудоемкости технологической подготовки производства новой номенклатуры отливок, уменьшения металлоемкости отливок и затрат на их механическую обработку, предупреждения образования дефектов в отливках.

При разработке технологии новой номенклатуры отливок необходимо учитывать совокупность множества технологических параметров, что является достаточно сложным и трудоёмким. Правильный анализ технологических факторов позволит выявить причины возникновения брака, а также найти пути его снижения.

Жизненный цикл отливки начинается с чертежа детали и заканчивается утилизацией данной детали вместе со всем изделием или в результате ее выхода из строя и замены.

Среди CALS-технологий интеграции данных об изделии ключевой является технология управления данными об изделии (Product Data Management – PDM).

PDM-технология – технология управления всеми данными об изделии и информационными процессами жизненного цикла изделия, создающими и использующими эти данные. Данные об изделии представляют собой всю информацию, созданную об изделии в течение его жизненного цикла, они включают: состав и структуру изделия, геометрические данные, чертежи, планы проектирования и производства, спецификации, нормативные документы, программы для станков и многое другое.

Для реализации PDM-технологии существуют специализированные программные средства, называемые PDM-системами (т.е. системами управления данными об изделии; другое название – системы управления проектами). PDM-система должна контролировать все связанные с изделием информационные процессы (в первую очередь, проектирование изделия) и всю информацию об изделии, включая: состав и структуру изделия, геометрические данные, чертежи, планы проектирования и производства и многое другое.

С помощью PDM-систем осуществляется отслеживание больших массивов данных и инженерно-технической информации, необходимых на этапах проектирования или производства, а также поддержка эксплуатации, сопровождения и утилизации технических изделий.

Основная идея PDM – повысить эффективность управления информацией об изделии за счет повышения доступности данных об изделии, а также сделать информационные процессы максимально прозрачными и управляемыми. Основным методом, применяемым для этого, является интеграции всех данных об изделии в логически единую информационную модель.

Работа начиналась с получения и анализа функциональных моделей жизненного цикла отливки: от конструкторской документации до готовой отливки (рис.1).

Анализ функциональной модели получения конструкторской документации «как есть» показал, что требуют формализации следующие вопросы:

- выбор и обоснование способа литья;
- выбор положения формы при ее заливке;
- расчет припусков на механическую обработку отливки;
- расчет литниковой системы;
- выбор конструкции стержня и его знаков;
- расчет размеров модели отливки;
- расчет размеров оснастки (толщины стенки, габаритные размеры, элементов оснастки);
- расчет усилий прессования (модельной массы, сплава);
- выполнение прочностных расчетов.

Неформализованные расчеты и поиск справочного материала, требуют от конструктора много времени на получение необходимой информации.

Применение CALS-технологии позволяет решать следующие основные задачи:

- построение единого информационного пространства для всех участников жизненного цикла изделия;
- решение проблемы автоматизации управления конфигурацией промышленных изделий;
- отслеживание и моделирование выполняемых процессов, проведение анализа при реструктуризации бизнеса, задание рабочих процедур и контроль их выполнения в автоматизированном режиме. Всё это является ценным при построении системы качества согласно ISO 9000;
- создание электронного архива чертежей и прочей *технической* документации.

Рассмотрим вопрос формализации процесса назначения припусков на механическую обработку.

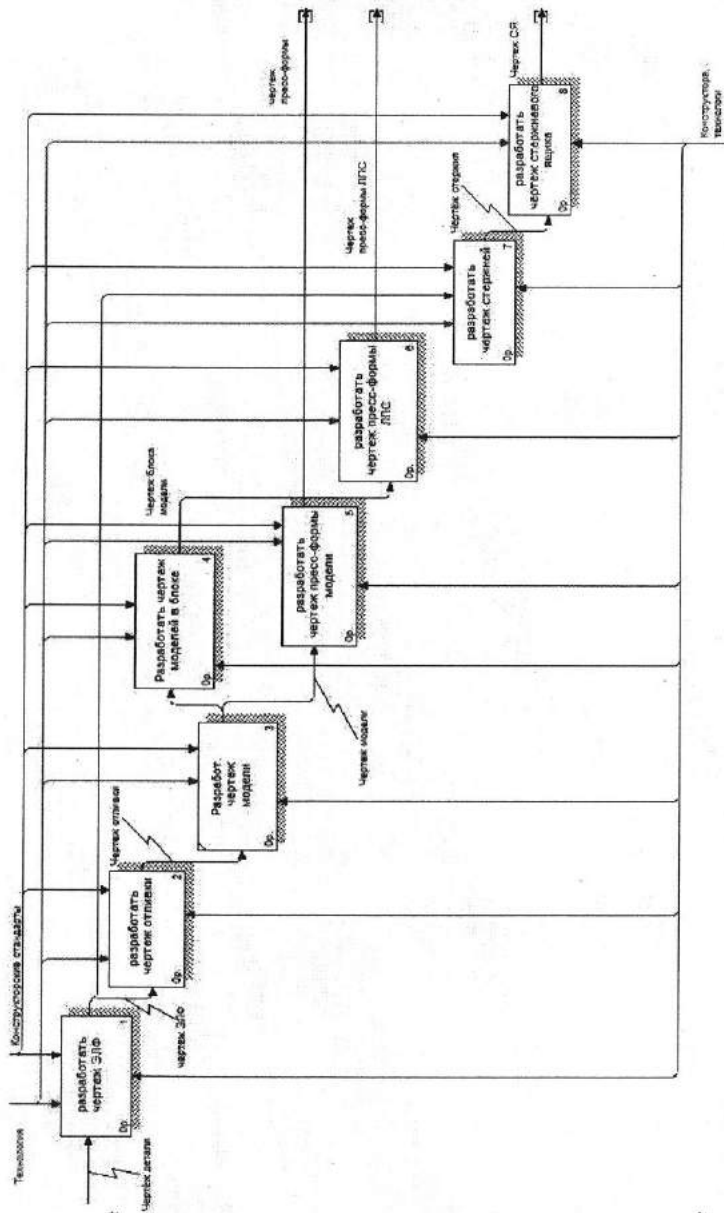


Рис. 1. Этапы разработки конструкторской документации

Общий припуск на механическую обработку – одна из главных характеристик норм точности отливок. Общий припуск на механическую обработку назначают для устранения погрешностей размеров, формы и расположения поверхности, неровностей и иных дефектов поверхности, которые формируются при изготовлении отливки. Величина общего припуска должна обеспечивать все операции механической обработки, которые необходимы для достижения параметров и норм точности, назначенных на конструктивные элементы детали.

Основной задачей припуска является обеспечение при осуществлении механической обработки отливки:

- заданных требований по размерной точности (рис.2) обрабатываемых конструктивных элементов литой детали;
- заданных требований по точности формы и расположения поверхности обрабатываемых конструктивных элементов отливки;
- заданных требований по точности или шероховатости поверхностей литой детали, подвергаемых механической обработке.

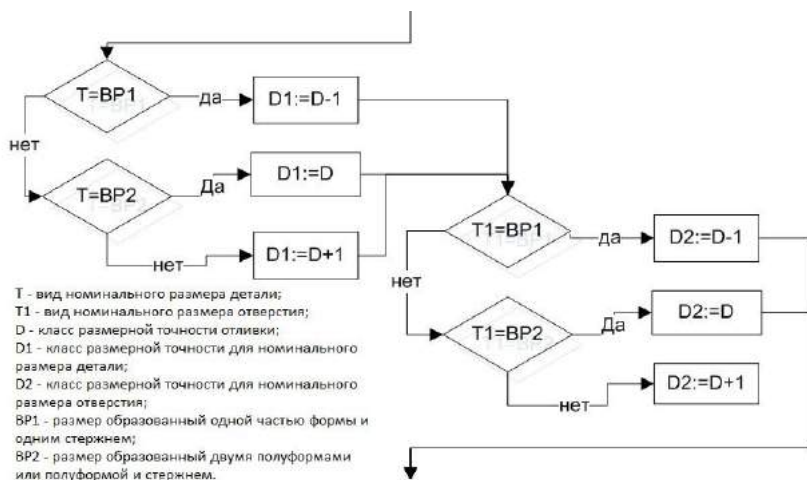


Рис.2. Фрагмент алгоритма программы САПР ПРИПУСК: переназначение класса размерной точности

Одной из задач на пути построения автоматизированной системы является разработка программы для назначения припусков на механическую обработку по ГОСТ 26645-85.

В общем виде математическая постановка задачи представляется следующим образом:

$$Y = F(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

где Y – степень точность или величина припуска;

x_1, x_2, \dots, x_n – параметры, такие как масса, базовый размер, вид окончательной механической обработки и т.п.

Сложность назначения припусков состоит в том, что ГОСТ 26645-85 не даёт никакой алгоритмической последовательности, что сильно усложняет назначение припуска. Зачастую технолог не может правильно справиться с этой задачей либо затрачивает на это большое усилие и время.

Универсальность программы состоит в том, что она позволяет определять основные параметры точности отливки: класс размерной точности, степень коробления, степень точности поверхностей, класс точности массы и допуск смещения, а также сам припуск для всех отливок не зависимо от технологического вида литья, типа формы, вида термообработки, типа сплава и т.п.

Используя ГОСТ 26648-85, составлена методика назначения припусков на механическую обработку и разработан алгоритм. На основании этого алгоритма с помощью Delphi-инструмента для создания приложений и систем, функционирующих на платформе Windows, была реализована программа САПР ПРИПУСК.

Рассмотрим вопрос формализации процесса определения размеров знаковых частей стержня.

Стержень, являясь элементом литейной формы, служит для образования отверстий и полостей в отливке и состоит из рабочей части, образующей поверхность отливки, и знаков, которые крепят стержни в форме.

Положение стержня в форме фиксируется его знаками, т. е. опорными выступающими частями стержня, не омываемыми жидким металлом. От геометрической формы знаков, расположения и размеров зависит возможность обеспечения конструктивной прочности стержней, удержания последних в заданном положении и вывода газов из них непосредственно после заливки формы, когда стенки отливки не успели еще затвердеть. Помимо этого предпринимают соответствующие меры предупреждения деформации знаков в процессе изготовления стержней и после выемки их из стержневого ящика.

Конструкция и размеры стержневых контрольных знаков, а также гарантированные зазоры с формой регламентируются по ГОСТ 3212-92 «Комплекты модельные. Уклоны формовочные, стержневые знаки, допуски размеров».

Автоматизация процесса определения размеров стержневых знаков позволяет ускорить процесс проектирования стержня, а значит, и отливки в целом.

На основании ГОСТ 3212-92 составлен алгоритм (рис.3) выбора основных размеров знаковых частей стержня. Универсальность состоит в том, что она позволяет определять основные размеры знаковых частей стержня: длину и высоту знаков, уклоны на знаковых поверхностях, величину технологических зазоров, размеры канавок, фасок и т.п.

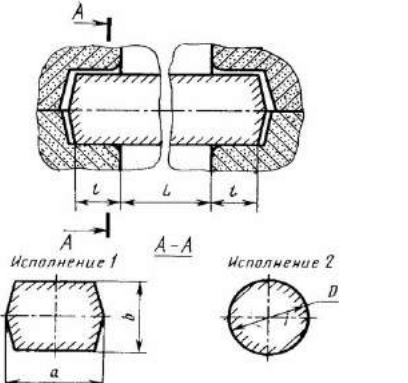
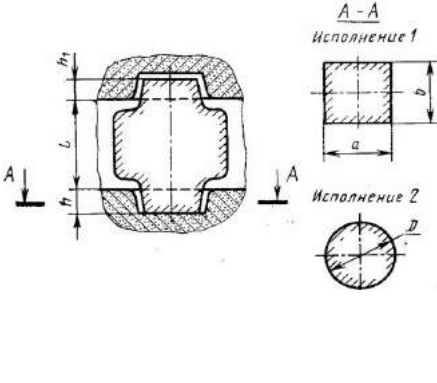
Горизонтальное расположение	Вертикальное расположение
	
<p>0.2. Выберите тип формы = (Т)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Сырая • Сухая • Форма, твердеющая в контакте с оснасткой <p>1. Длина горизонтальных знаков = (к)</p> <p>1.1. Введите диаметр стержня = (D) (или его ширину (a) и высоту (b))</p> <p>1.2. Введите длину стержня = (L)</p> <p><u>По D (a,b), L и T подобрать k (см. табл.4, 5 и 6 ГОСТ3212-96)</u></p>	<p>1. Высота вертикальных знаков = (к)</p> <p>1.1. Введите диаметр стержня = (D) (или его длину (a) и ширину (b))</p> <p>1.2. Введите длину стержня = (L)</p> <p><u>По D(a,b) и L подобрать k (см. табл.7 ГОСТ3212-96)</u></p> <p>Выводимые пояснения: Длина горизонтальных знаков при выполнении в них элементов литниковой системы может быть увеличена.</p> <p>Длина знака многоопорного стержня может быть увеличена на 30–50%.</p> <p>Длина знака консольного стержня может быть увеличена до длины стержня L.</p> <p>При отсутствии верхнего вертикального знака высота нижнего знака может быть увеличена до 50%</p>

Рис.3. Фрагмент алгоритма определения размеров стержневых знаков

Рассмотрим вопрос формализации процесса прогнозирования дефектов в готовых изделиях и брака.

Качество детали, получаемой литьем, закладывается в процессе получения отливки. Экономический эффект производства возрастает с уменьшением количества дефектов в изделии и брака. Одними из основных причин брака являются нетехнологичность конструкции деталей и несовершенство технологического процесса. Из-за сложности учёта всех факторов, влияющих на появление дефектов, целесообразно использовать автоматизированную систему поиска решений.

В автоматизированную систему вносятся причины и дефекты. Совокупность тех или иных причин вызывает появление определённого дефекта.

$$D = F(p_1, p_2, \dots, p_n),$$

где D – дефект;

p_1, p_2, \dots, p_n – причина возникновения данного дефекта.

Изучается влияние на дефект двух или более факторов, применён метод многофакторного дисперсионного анализа.

Для решения поставленной задачи применяются уже найденные зависимости «причины-дефект» в комплексе с прикладной статистикой. То есть совместное использование детерминированных и вероятностных методов описания данных. В основу анализа положена жестко детерминированная факторная модель, позволяющая идентифицировать и дать сравнительную характеристику основных причин, влияющих на изменение того или иного дефекта в отливке. С помощью детерминированных методов можно проанализировать только те данные, которые имеются в распоряжении. Использовать их для прогнозирования дефектов можно лишь на основе вероятностно-статистического моделирования. Математической основой прикладной статистики и статистических методов анализа является теория вероятностей и математическая статистика.

Таким образом, применение CALS-технологий в литейном производстве (назначение припусков на механическую обработку, определение размеров знаковых частей стержня, прогнозирование дефектов в готовых изделиях и брака) позволяет существенно ускорить и облегчить процесс технологического проектирования изделия.

А.С. Савинов, А.С. Тубольцева, Р.М. Байбатыров, Е.В. Носов
Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ПРИ ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ О СИЛОВОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЛИТОЙ ДЕТАЛИ С ФОРМОЙ

Анализ напряженного состояния литой детали в процессе ее охлаждения в сырой песчано-глинистой форме (ПГФ) невозможен без изучения граничных условий при постановке задачи о силовом взаимодействии системы «отливка-форма».

Рассмотрение данного вопроса [1–3] показало, что основными факторами, влияющими на возникновение напряжений в отливке при кристаллизации и охлаждении, являются рост сухого слоя в форме (рис. 1), характер расположения зон испарения и конденсации, физико-механические свойства формы. Сочетание этих факторов дает непрерывное изменение деформационной способности формообразующей среды отливки, что существенно затрудняет моделирование напряженного состояния литой детали при охлаждении.

Для моделирования граничных условий требуется:

1. Применение адаптация либо разработка модели движения и формообразования зоны конденсации.
2. Изучение деформационных свойств песчано-глинистых смесей в сыром и сухом состоянии в различных температурных условиях.
3. Изучение и моделирование возникающих усилий трения при взаимодействии стенки отливки с формой.

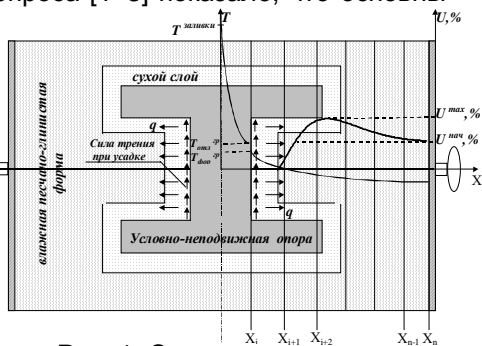


Рис. 1. Схема возникновения напряженного состояния системы «отливка-форма»

Для моделирования положения и характера конденсации была разработана физико-математическая модель [4] на основе базы данных, опубликованных в центральной печати [5]. По созданному алгоритму разработана программа, обеспечивающая расчет зоны конденсации в зависимости от величины сухого слоя смеси, начальной влажности и плотности формы [6]. Окно программы показано на рис. 2. Проверка результатов работы программы показала удовлетворительную сходимость расчетных и экспериментальных данных [7, 8].

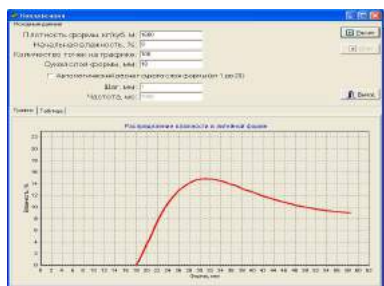


Рис. 2. Окно программы «Конденсация»

Деформационную способность формовочных смесей изучали на разработанной установке при использовании мобильного лабораторного стенда [9, 10]. Податливость формы исследовали в сыром и сухом состоянии в различных температурных условиях. Матрица планирования полного факторного эксперимента представлена в таблице.

Матрица планирования полного факторного эксперимента

№	Каолин, %	Бентонит, %	Влажность, %	№	Каолин, %	Бентонит, %	Влажность, %
1	0	0	2	15	10	5	6
2	5	0	2	16	0	10	6
3	10	0	2	17	5	10	6
4	0	5	2	18	10	10	6
5	5	5	2	19	0	0	10
6	10	5	2	20	5	0	10
7	0	10	2	21	10	0	10
8	5	10	2	22	0	5	10
9	10	10	2	23	5	5	10
10	0	0	6	24	10	5	10
11	5	0	6	25	0	10	10
12	10	0	6	26	5	10	10
13	0	5	6	27	10	10	10
14	5	5	6				

Образцы из компонентных составов, представленных в таблице, сушились при температуре 150°C, охлаждались и повторно нагревались до температуры 20, 300, 600, 900°C. В ходе эксперимента испытуемый элемент в сухом и сыром состоянии подвергался статическому нагружению 0-1 кН/см². Усилие нагружения и деформация образца фиксировалось на лабораторном стенде. Полученные в ходе эксперимента абсолютные значения деформации пересчитывались в относительные единицы по формуле

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} 100\%,$$

где Δl – абсолютное изменение размера образца;
 l – первоначальный размер.

Полученная база данных была использована для построения нейросетевых моделей, структура которых предстала на рис. 3.

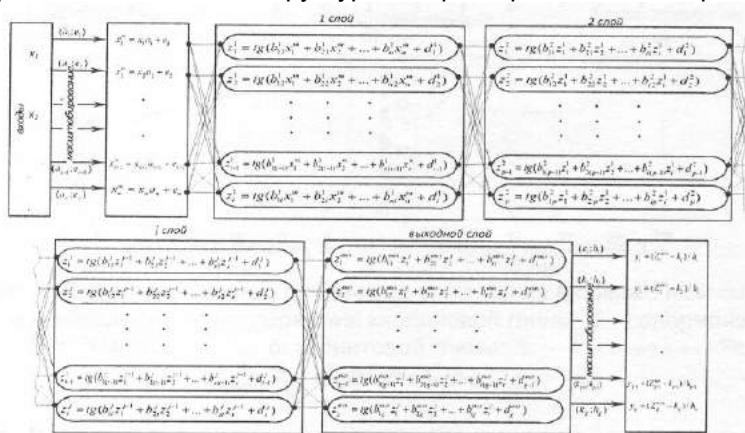


Рис. 3. Структура нейросети:

- x_n, x_n^m – входной и отмасштабированный параметры соответственно;
- Z_i^j – i -й нейрон j -го слоя, $i = 0, 1, 2, \dots; j = 0, 1, 2, \dots$;
- a_n, e_n – коэффициенты масштабирования, $n = 0, 1, 2, \dots$;
- b_{ki}^j – связь (синапс) между i -м нейроном j -го слоя и k -м входом, $k = 0, 1, 2, \dots; d_i^j$ – опорный коэффициент i -го нейрона j -го слоя;
- y_b – выходной параметр

Относительное отклонение экспериментальных и тестовых значений составляло $\varepsilon = 11,3\%$ для сырой смеси и $\varepsilon = 10,9\%$ для сухой смеси. Корреляционное отношение экспериментальных и тестовых (расчетных) значений составило $\eta^{\text{сыр}} = 0,994$, $\eta^{\text{сух}} = 0,997$, что говорит о высокой сходимости опытных и спрогнозированных данных. Полученные результаты расчета отображены графически на рис. 4.

При построении зависимостей рассматривалось влияние на деформационную способность одного фактора. Остальные факторы принимались константой при среднем значении содержания.

Как видно из представленных зависимостей, деформационная способность сухой смеси много ниже сырой, что подтверждается источниками [11, 12], следовательно, рост сухого слоя формы оказывает исключительное влияние на напряженное состояние отливки в процессе ее охлаждения.

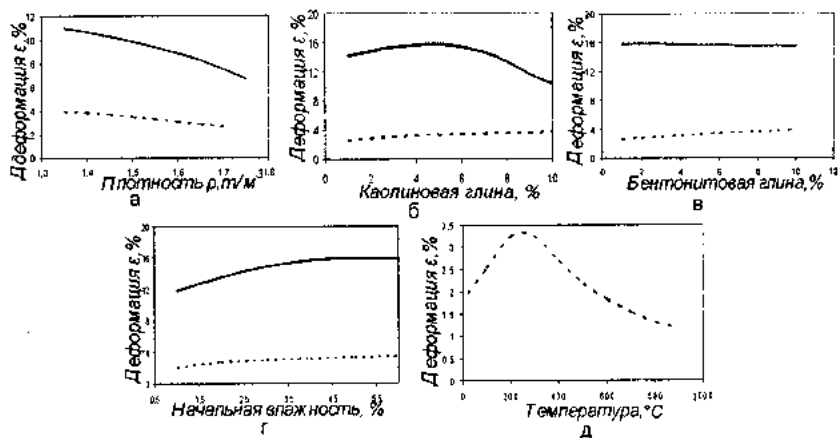


Рис. 4. Расчетные данные влияния на уплотнение формовочной смеси: а – плотности; б – содержания каолиновой глины; в – содержания бентонитовой глины; г – влажности; д – температуры

В связи с этим весьма интересно нахождение экстремальных минимальных значений деформационной способности сухой ПГС в координатах «влажность - связующее». Данные экспериментальные значения были получены с помощью разработанного нейросетевого математического аппарата и графически отображены на рис. 5.

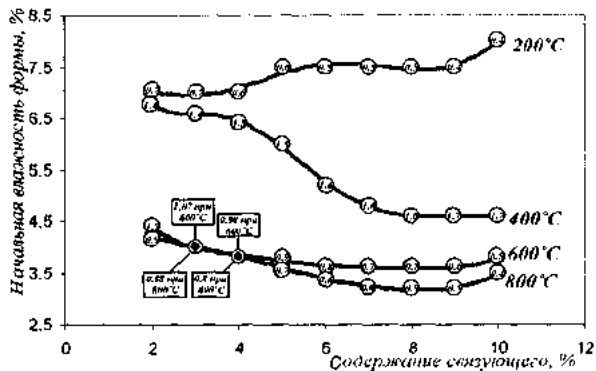


Рис. 5. Экстремальные значения деформации сухой ПГС при различных температурах

На графике в точках даны экстремальные значения деформации при нагружении $0,5 \text{ кН/см}^2$.

Таким образом, разработанный математический аппарат позволяет прогнозировать деформационную способность формочной смеси в сыром и сухом состоянии.

Для оценки влияния сил трения на формообразование напряженного состояния была разработана установка по определению коэффициентов трения металла о стенки формы [13]. Исследованы коэффициенты трения сталей основных классов: аустенитного (10X18H9Л), мартенситного (20X12ВНМФ), ферритного (15X25ТЛ), аустенитно-ферритного (20X20H14С2), мартенситно-ферритного (15X12ВНМФ), аустенитно-мартенситного (14X18H4Г4Л). Эксперименты проводились при температурах 20, 300, 600, 900 °C. На основании полученных результатов были сделаны следующие выводы: класс стали незначительно (в пределах 7,3%) влияет на значение коэффициентов трения, разброс средних значений по температурам более существенен и лежит в пределах 0,36–0,42 ед. Однако в первом приближении при анализе силового взаимодействия отливки с формой данный параметр можно принимать равным среднему значению 0,39.

Таким образом, в результате проведенной работы был разработан математический аппарат по моделированию кривой изменения влажности сырой песчано-глинистой смеси, деформационной способности формы в различных температурных условиях, определены коэффициенты трения для сталей основных классов.

Созданы предпосылки для изучения силового взаимодействия кристаллизующейся литой детали с формой.

Библиографический список

1. Аксенов П.Н., Трухов А.П. Аналитический расчет зоны конденсации в литейной форме // *Литейное производство*. 1972. №5. С. 19 - 21.
2. Трухов А.П. Деформация сырой формы при заливке и ее влияние на точность отливок // *Литейное производство*. 1978 №6. С.9-11.
3. Баландин Г.Ю., Степанов Ю.А. О силовом взаимодействии затвердевающей отливки и формы // *Литейное производство*. 1962. С. 37-40.
4. Савинов А.С., Тубольцева А.С. Аналитический расчет движения зон испарения и конденсации литейной формы при постоянном тепловом потоке // *Теория и технология металлургического производства: межрег. сб. науч. тр. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. Вып. 8. С. 109 – 114.*
5. Ле Конг Ха. Распределение влажности в сырой форме при заливке // *Литейное производство*. 1970. №5. С.37 - 38.
6. Савинов А.С., Тубольцева А.С. Физико-аналитическое моделирование процесса движения зоны конденсации в сырой песчано-глинистой форме // *Материалы 67-й науч.-техн. конф. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. С.93-95.*
7. Экспериментальное определение динамики движения фронта влажности в сырой песчано-глинистой форме / Савинов А.С., Тубольцева А.С., Савинкина О.В., Решетникова С.В., Немков Д.С. // *Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. Вып. 9. С. 106 – 110.*
8. Савинов А.С., Ибрагимов Ф.Г., Тубольцева А.С. Развитие теории расчета физических процессов в сырой песчано-глинистой форме при кристаллизации и охлаждении плоской стенки отливки // *Повышение конкурентоспособности металлургических и машиностроительных предприятий. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. С. 157.*
9. Савинов А.С., Тубольцева А.С. Установка для исследования податливости формовочных смесей // *Литейные процессы: межрегион. сб. науч. трудов. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. С.139-144.*

10. Савинов А.С., Андреев С.М., Тубольцева А.С. Информационно-измерительный комплекс для определения параметров процессов при изготовлении литой детали // Современные технологии в машиностроении: сб. статей XII Междунар. науч.-практ. конференции. Пенза: Приволжский Дом знаний, 2009. С. 39 – 41.
11. Жуковский С.С. Прочность литейной формы. М.: Машиностроение, 1989. 288 с.
12. Илларионов В.В. Формовочные материалы и смеси. М.: Машиностроение, 1991. 258 с.
13. Савинов А.С., Тубольцева А.С., Бойцов А.А. Установка по определению коэффициентов трения материалов в различных температурных условиях // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. Вып. 9. С. 136 – 142.

УДК 669:541.1

Э.В. Дюльдина, Е.П. Лозовский

Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова

МОЛЕКУЛЯРНО–ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПЛАВОВ ШЛАКООБРАЗУЮЩЕЙ СМЕСИ МНЛЗ

Непрерывная разливка стали производится, как правило, с защитой поверхности жидкого металла в промежуточном ковше и в кристаллизаторе шлаком, получаемым из шлакообразующих смесей (ШОС). Основные функции шлака, получающегося при плавлении смесей, состоят в изоляции поверхности металла от контакта с атмосферой, ассимиляции неметаллических включений, всплывающих из металла, стабилизации теплоотдачи от затвердевающего слитка к стенкам кристаллизатора и уменьшении трения между ними. Эффективность разливки и качество получаемых слитков во многом зависят от соответствия физико-химических свойств шлаков, получаемых при расплавлении ШОС, химическому составу металла и условиям его разливки. Всё возрастающие

требования к качеству слитков, а также расширение марочного сортамента металлопродукции вызывают необходимость совершенствования существующих и создания новых шлакообразующих смесей. Для успешного решения этой задачи необходима информация о зависимости физико-химических свойств и структуры получающегося шлака от химического состава шлакообразующей смеси. Эти данные могут быть получены из экспериментальных исследований, однако для разработки более эффективных технологических процессов зачастую необходимо знать фундаментальные закономерности, лежащие в их основе. Такую информацию может дать микроскопическая теория расплавов и современные методы компьютерного моделирования.

Большое число экспериментальных данных по свойствам оксидных систем указывает на значительный вклад ионной связи. Это вызвано высокой электроотрицательностью кислорода. Тем не менее, при моделировании ряда оксидов важен учет ковалентной составляющей связи. Ковалентное взаимодействие описывается путем введения трехчастичных или иных непарных потенциалов, работа с которыми резко увеличивает время вычислений. При построении модели оксида со смешанной ионно-ковалентной связью появляется слишком много силовых параметров, теоретический расчет которых пока выглядит очень трудным делом. Квантовомеханическим методом *ab initio* можно исследовать лишь очень небольшие модели (не более 100 частиц в основном кубе). Поэтому реальную ситуацию в оксидах приходится упрощать. Выбор чисто ионного варианта имеет значительные преимущества. При этом удается получить неплохое согласие с опытом для структуры и энергии моделей.

В последнее время ионная модель некристаллических оксидов применяется довольно широко. Проведено моделирование многих простых и сложных оксидов, а также и других родственных систем (в частности, оксифторидов). В данной работе впервые проведено молекулярно-динамическое моделирование расплава ШОС, состоящего из 9 ионов (Si, Ca, Al, Mg, K, Na, Fe, F, O), составляющих 8 компонентов ($\text{SiO}_2 - \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO} - \text{CaF}_2 - \text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O} - \text{FeO}$), проведено обсуждение результатов и сопоставление с литературными экспериментальными и расчетными данными.

МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ

Исходные данные и параметры модели

Построение моделей 8 компонентного расплава ШОС размером 2001 атом в основном кубе с периодическими граничными условиями вели для четырёх температур при фиксированном объеме. Шаг по времени равнялся $0.05t_0$, где t_0 – внутренняя единица времени, равная $7,608 \cdot 10^{-14}$ с. Длина одного прогона – 1000 шагов. Для получения зависимостей средних квадратов смещения частиц от времени просчитывали до 50000-60000 шагов. Плотность системы брали из собственных экспериментальных данных [1]. Температурная зависимость плотности, а также расчетные длины ребра основного куба приведены в табл. 1.

Таблица 1

Температурная зависимость плотности и длины ребра
основного куба

Температура, К	Плотность, г/см ³	Длина ребра L, Å
1523	2,600	31,345
1573	2,568	31,424
1673	2,550	31,491
1773	2,515	31,620

Рассматриваемые модели расплава ШОС соответствуют реальному (желательному) составу (масс %). С учетом этих концентраций был проведен пересчет состава на мольные доли и вычислено соответствующее число ионов каждого компонента (табл. 2).

Таблица 2

Состав ШОС и число ионов в модели

Состав, масс %		Пересчет на модель размером 2001 атом	
желательный	фактический	Ме	Число атомов
SiO ₂ = 34,06	34.197	Si	273
CaO = 46,75	46.881	Ca	449
Al ₂ O ₃ = 5,19	5.102	Al	48
MgO = 3,17	3.17	Mg	37
CaF ₂ = 7,82	7.82	K	4
K ₂ O = 0,34	0.34	Na	4
Na ₂ O = 0,31	0.31	Fe	15
FeO = 2,36	2.247	F	96
Итого	100	O	1075

При таких числах ионов массовые проценты простых оксидов в модели не совпадают с экспериментальными, однако близки к ним, особенно для тех компонентов, атомов которых в модели достаточно много.

Потенциалы межчастичного взаимодействия в оксидах

Применимость ионной теории обуславливается значительной разницей электроотрицательностей кислорода (3,5 по Полингу) и обычных металлов (0,9 у Na, 1,0 у Ca, 1,5 у Al и т.д.). Например, для молекулы CaO разность электроотрицательностей составляет ~2,5 и степень ионности близка к 76%. Степень ионности молекулы SiO₂ равна ~51%. Поэтому, несколько упрощая ситуацию, можно приписать частице кислорода формальный заряд -2e (e- элементарный заряд), частицам Ca, Al, Si - соответственно 2e, 3e, 4e.

Потенциалы межчастичного взаимодействия были выбраны в форме Борна-Майера:

$$u_{ij}(r) = Z_i Z_j e^2/r + V_{ij} \exp(-r/\rho_{ij}) + C_{ij}/r^6,$$

где r – расстояние между центрами ионов; Z_i – заряд i -го иона в единицах элементарного заряда e ; V_{ij} и ρ_{ij} – параметры отталкивания ионных оболочек частиц i и j ; C_{ij} – параметры эффективного диполь-дипольного взаимодействия.

Величины коэффициентов V_{ij} оцениваются обычно путем подгонки по свойствам соответствующих кристаллов. Что касается коэффициентов V_{ij} для пар катион-кислород, то здесь наиболее простой способ - выбрать параметр так, чтобы получить правильное значение расстояния между ближайшими соседями, известное из дифракционных данных о структуре. Параметры C_{ij} можно подбирать так, чтобы расчетные теплоты образования граничных двойных оксидов согласовались с экспериментальными данными. Диполь-дипольные вклады обычно малы, очень слабо влияют на структуру оксида и в настоящей работе ими можно было пренебречь.

Ниже принята следующая нумерация компонентов: 1 - Si, 2 - O, 3 - Ca, 4 - Al, 5 - Mg, 6 - K, 7 - Na, 8 - Fe, 9 - F. Заряды ионов (в той же последовательности) приняли равными 4, -2, 2, 3, 2, 1, 1, 2 и -1. Параметры V_{ij} для различных пар ионов одинакового знака, кроме пар O-O, приняли равными нулю, поскольку эти пары из-за кулоновского отталкивания находятся на большом расстоянии. Для пар O-O значение V_{ij} взяли из работы [2]. Остальные параметры V_{ij} приведены в обзоре [3]. Все коэффициенты $\rho_{ij} = 0,2900 \text{ \AA}$ [3].

Расчеты проводили с помощью алгоритма Верле. Кулоновское взаимодействие учитывали методом Эвальда-Хансена [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основными структурными характеристиками некристаллических многокомпонентных систем являются парциальные парные корреляционные функции (ППКФ) $g_{ij}(r)$, описывающие вероятность обнаружения пары частиц сортов i и j на расстоянии r . Они нормированы так, что при $r \rightarrow \infty$ все $g_{ij}(r) \rightarrow 1$. Эти функции непосредственно рассчитываются в методе молекулярной динамики (МД). Введем обозначения: $R_1(ij)$, $g_1(ij)$ - координата и высота первого пика ППКФ для пар ij .

Для всех типов частиц в зависимости от состава получены парциальные парные корреляционные функции (ППКФ), а также интегральная ПКФ от всего расплава. На рис. 1 представлены интегральные ПКФ для четырёх температур.

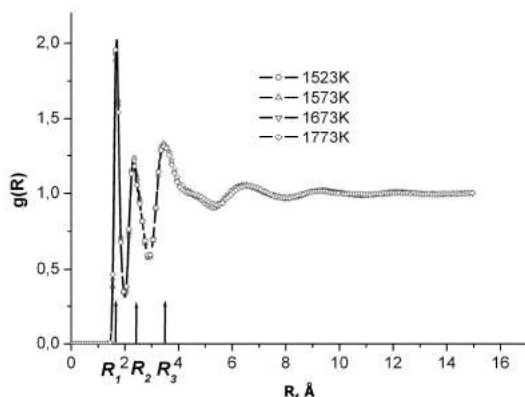


Рис.1. Интегральные ПКФ расплавов шлака при температурах 1623, 1723, 1823, 2000 К

Прежде всего следует отметить, что для изученного диапазона 1523 – 1773 К температурная зависимость ПКФ крайне незначительна. Положения пиков при всех температурах практически совпадают, а различия по их высоте невелики. Вертикальными линиями отмечено положение трёх характерных пиках.

Рассмотрим корреляцию интегральной ПКФ и ППКФ оксидов, имеющих наибольший массовый процент в исследуемой системе, а именно $Me-O$, где $Me = Si, Ca, Al, Mg$ (рис.2).

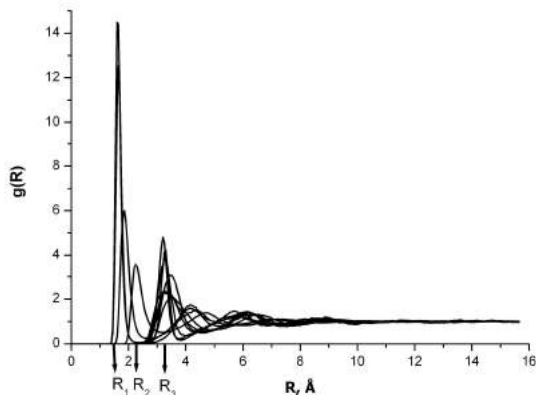


Рис.2. Парциальные ПДФ для оксидов Me-O, где Me = Si, Ca, Al, Mg

Хорошо видно, что парциальные ПДФ достаточно четко структурированы по трем группам и положения пиков в этих группах коррелируют с указанными на рисунке положениями пиков R_1 , R_2 и R_3 , выявленных на интегральной ПДФ.

Все парциальные ПДФ имеют четко выраженные первые пики. Максимальная высота пиков парциальных ПДФ наблюдается для пар Si-O (~14), а также Al-O и Mg-O; положение этих пиков соответствует расстоянию R_1 .

С расстоянием R_2 коррелируют пики, характерные для связей Ca-O и O-O, имеющие значительно меньшую высоту - порядка 2,5 – 3,0.

Для остальных пар Me-O и Me-Me первые пики также явно выражены, но имеют большой разброс по высоте (от 1,5 до 5,0). Они формируют атомную структуру, дающую вклад в третий пик интегральной ПДФ, характеризуемый расстоянием R_3 . Пики этих парциальных ПДФ более широкие, чем первые, их полуширина составляет 0,5 -1,0 Å. Всё это свидетельствует о слабой корреляции расположения ионов этой группы. Можно полагать, что ионы металла хаотически движутся внутри расплава, находясь преимущественно в кислородном окружении.

Следует отметить, что положение и высота пиков ПДФ для ряда оксидов, дающих основной вклад в интегральную ПДФ, например SiO₂, FeO, MgO, CaO, Al₂O₃, Na₂O хорошо согласуются с данными дифракционного эксперимента для соответствующих расплавов [4].

Существует ряд других важных свойств, которые часто исследуются на моделях. Сюда относится, например, расчет коэффициентов самодиффузии частиц, вязкости, автокорреляционных функций скоростей, потоков и т. д., которые позволяют определить колебательные спектры системы и провести сопоставление с экспериментальными данными по упругому и неупругому рассеянию излучения. Нами определена диффузионная подвижность частиц в модели, которая оказалась очень малой, что затрудняет их количественную оценку. Надежные данные для коэффициента самодиффузии можно получить только для ионов натрия и фтора, в меньшей степени, для ионов калия, для которых наблюдаются заметные перемещения частиц в МД-прогоне.

На рис.3 представлены парциальные ПКФ для оксидов, массовый процент которых в расплаве невелик.

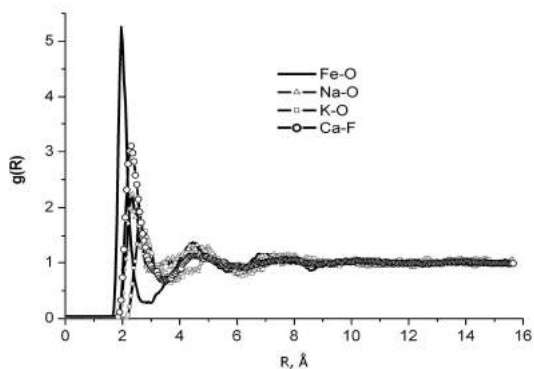


Рис.3. Парциальные ПКФ для оксидов Me-O, где Me = Fe, Na, K и Ca-F

Интересно отметить, что хотя концентрация фторида CaF_2 сопоставима с таковой для оксидов железа, их ППКФ существенно отличаются как по высоте, так и по положению пиков и их полуширине.

По виду ППКФ для системы Ca-F и оксидов щелочных металлов можно полагать, что в этих системах довольно слабая корреляция в расположении ионов, как следствие, более слабое межчастичное взаимодействие по сравнению с оксидами, дающими основной вклад в интегральную ПКФ. Это вполне может быть причиной повышенной диффузионной подвижности ионов фтора, натрия и калия. Основываясь на экспериментальных данных о

плотности, в приближении модели ионной связи проведено молекулярно-динамическое моделирование расплава многокомпонентной шлакообразующей смеси при нескольких температурах. Полученная модель свидетельствует о слабой температурной зависимости структуры шлакового расплава. Показано, что компьютерная модель позволяет получить достаточно реалистичную картину атомной структуры шлакового расплава, которая по основным параметрам (положение и высота пиков парциальных ПКФ) хорошо согласуется с данными дифракционного эксперимента. Обнаружена повышенная диффузионная подвижность ионов фтора и натрия (несколько меньше ионов калия) по сравнению с другими элементами, которая коррелирует с видом ППКФ соответствующих оксидов и фторидов.

Библиографический список

1. Физико-химические свойства расплавов шлакообразующих смесей, используемых при непрерывной разливке стали / Дюльдина Э.В., Селиванов В.Н., Лозовский Е.П. и др. // Расплавы. 2009. №6. С. 3 – 10.
2. Белащенко Д.К., Сапожникова С.Ю. Компьютерное исследование структуры, термодинамических свойств и механизма переноса ионов в криолит-глиноземных расплавах // Журнал физической химии. 1997. Т.71. №6. С. 1036 –1040.
3. Белащенко Д.К. Компьютерное моделирование структуры и свойств некристаллических оксидов // Успехи химии. 1997. Т.66. №9. С. 811 – 844.
4. Дифракционные исследования строения высокотемпературных расплавов / Пастухов Э.А., Ватолин Н.А., Лисин В.Л. и др. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 355 с.

Раздел 7

**ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ, ПСИХОЛОГИИ,
ЭКОНОМИКИ И КАЧЕСТВА В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

УДК 621.74

В.М. Колокольцев, А.В. ШевченкоМагнитогорский государственный
технический университет им. Г.И.Носова**МОДИФИЦИРОВАНИЕ РАСПЛАВА БЕЛОГО ЧУГУНА
БОРИДОМ ТИТАНА**

Достаточно эффективным является применение бора, при обработке которым эксплуатационные характеристики сплавов во многих случаях не только не уступают, но и превосходят уровень свойств сплавов, получаемых с использованием традиционной системы легирования. Перспективным является применение бора совместно с другими активными модифицирующими добавками [1-3]. Таким материалом является комплексный модификатор БФТ-1 следующего состава, %: 43,5Ti, 3,0 B, 20,0 Al, 13,5 Si, 1,2 C, Fe – ост.

Плавку опытных сплавов проводили в индукционной тигельной печи емкостью 2 кг. С помощью аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) ЛА-50 USB получены термограммы кристаллизации ИЧХ28Н2 до и после обработки БФТ-1. Литературный анализ показал, что для отливок из комплексно-легированных чугунов оптимальное содержание бора составляет 0,01–0,02%. Исходя из этого, было выбрано количество добавки 5 кг/т, что соответствует содержанию 0,015% бора и 0,21% титана. По термограммам определены температуры ликвидус и солидус:

	до обработки	после обработки
$T_{\text{ликв}}, ^\circ\text{C}$	1270	1275
$T_{\text{сол}}, ^\circ\text{C}$	1230	1245

Несмотря на то, что в расплаве с добавкой БФТ-1 Тликв возросла на 5°C, интервал кристаллизации уменьшился за счет более сильного повышения $T_{\text{сол}}$. Это связано с модифицирующим действием бора и титана, что способствует более быстрой кристаллизации.

Исследование влияния технологических параметров на усвоение активных элементов из БФТ-1 проводили в два этапа. На первом этапе изучали влияние времени выдержки расплава после введения в него БФТ-1 на усвоение активных элементов.

БФТ-1 вводили в печь на конечной стадии выплавки чугуна при температуре выпуска, которая определялась с учетом свойств сплава и технологических особенностей производства. Обычно температура выпуска определяется перегревом над температурой ликвидус приблизительно на 80–100°C. Температура ликвидус для ИЧХ28Н2 составляет $T_{\text{ликв}} = 1270^\circ\text{C}$. Исходя из этого, БФТ-1 вводили в расплав при температуре 1370°C в количестве 5 кг/т. Затем производили отбор проб через 30 с, 1, 2 и 3 мин.

По результатам химического анализа определено, что наибольшее насыщение расплава титаном и бором происходит после 3 мин выдержки. Это показывает, что применение данного материала не требует разработки специальных технологий, что является благоприятным технологическим фактором.

По полученным данным было рассчитано усвоение титана и бора, которое составило 55,5 и 80% соответственно. Видно, что усвоение титана и бора достаточно хорошее.

На втором этапе исследовали влияние температуры ввода БФТ-1 на его усвоение.

Добавку, в количестве 5 кг/т, вводили в расплав при его перегреве над температурой ликвидус на 100, 150, 200°C. После ввода БФТ-1 проводили выдержку в течение 1 мин, после чего отбирали пробы.

С увеличением температуры ввода от 1370 до 1470°C содержание титана уменьшается (с 60 до 38%), что связано с более интенсивным поглощением расплавом кислорода и, как следствие, повышенным угаром титана. Максимальное насыщение расплава бором достигается при температуре ввода выше 1420°C, что соответствует 80%, при этом усвоение титана составило 47%. Перегрева над температурой ликвидус на 100°C оказывается недостаточно для полного растворения бора в течение 1 мин выдержки.

С целью определения рационального количества модификатора, обеспечивающего увеличение свойств ИЧХ28Н2, были проведены специальные исследования.

Количество БФТ-1 в опытных плавках составило 1, 3, 5, 7 и 9 кг/т. Добавку вводили в печь при температуре расплава 1370°C, после чего проводили выдержку в течение 3 мин, затем расплав охлаждали и заливали в сухую, сырую ПГФ и кокиль.

Экспериментальные данные во влиянию добавок БФТ-1 на коэффициент относительной износостойкости ($K_{и}$) и твердость по Роквеллу (HRC) чугуна приведены в табл. 1.

Таблица 1
Влияние БФТ-1 на свойства чугуна ИЧХ28Н2

Расход БФТ-1, кг/т	Свойства					
	$K_{и}$, ед			HRC, ед		
	Сухая	Сырая	Кокиль	Сухая	Сырая	Кокиль
0	1,60	1,61	1,3	49,7	49	54,3
1	1,69	1,70	1,22	49	50	54,5
3	1,76	1,82	1,03	48,3	49,8	54,3
5	1,81	1,88	1,02	49,7	50,4	55,2
7	1,73	1,69	1,0	48,9	50	54
9	1,79	1,86	1,12	49,8	50,2	55,4

При обработке расплавов БФТ-1, залитых как в сырую, так и в сухую ПГФ, происходит непрерывный рост $K_{и}$ до 5 кг/т, что соответствует остаточному содержанию бора – 0,012%, титана – 0,12%. Наилучшие результаты наблюдаются при заливке расплава в сырую ПГФ. При расходе БФТ-1 свыше 5 кг/т происходит снижение $K_{и}$ и твердости. Следует отметить, что при добавлении БФТ-1 в количестве 9 кг/т происходит существенное повышение $K_{и}$ и твердости. Это позволяет сделать предположение о том, что количество БФТ-1 свыше 9 кг/т (Ti – 0,39%, B – 0,027%), оказывает микролегирующее действие на расплав ИЧХ28Н2.

При заливке расплавов в кокиль, обработанных БФТ-1 в количестве до 7 кг/т, коэффициент износостойкости $K_{и}$ уменьшается. При 9 кг/т $K_{и}$ несколько повысился. Твердость образцов существенно не изменилась.

Для выяснения причин вышеизложенного были проведены металлографические исследования.

Полученные результаты показывают, что в образцах, залитых в сухую и сырую ПГФ, с увеличением добавки до 5 кг/т наблюдается увеличение объемной доли, количества и площади карбидов хрома.

В образцах, полученных заливкой расплава в кокиль, также происходит увеличение объемной доли, числа и площади карбидов хрома до количества добавки 7 кг/т. Однако происходит понижение $K_{и}$. Это объясняется тем, что модифицирование БФТ-1 в сочетании с быстрым охлаждением привело к образованию большого количества карбидов, не имеющих прочного сцепления с основой, так как расстояние между ними уменьшилось, что при воздействии абразива приводит к выкрашиванию карбидов. Поэтому максимальные свойства сплава в литом состоянии – без добавки БФТ-1.

Была проведена статистическая обработка данных металлографического анализа (рис. 1). Наибольшей износостойкостью будет обладать сплав с объемной долей карбидов 25%, числом карбидов 35000-40000 $1/мм^2$, площадью карбидов 6-10 $мкм^2$ и расстоянием между ними 7-10 $мкм$.

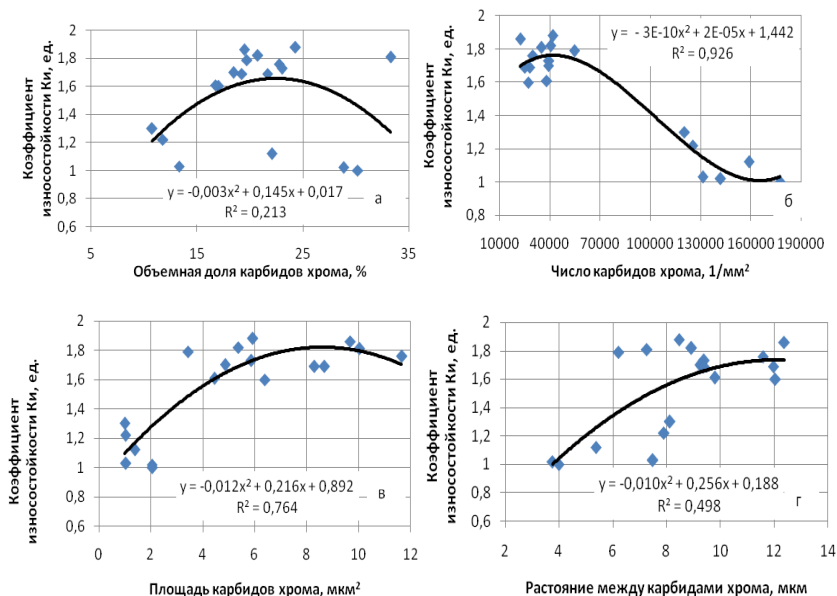
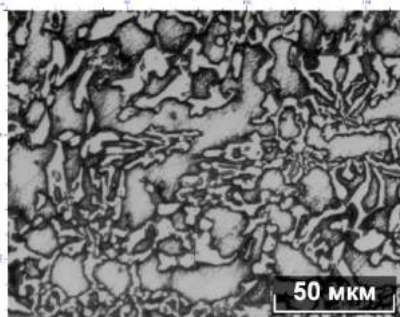


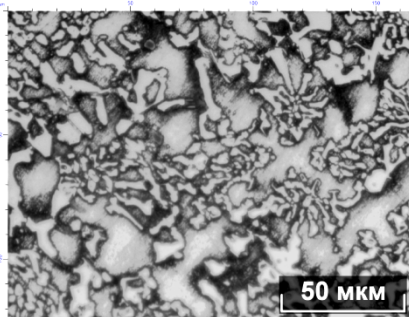
Рис. 1. Влияние объемной доли карбидов хрома (а), числа карбидов (б), площади (в) и расстояния между карбидами (г) на коэффициент износостойкости

Микроструктура и анализ микротвердости структурных составляющих чугуна ИЧХ28Н2 до и после обработки расплавов БФТ-

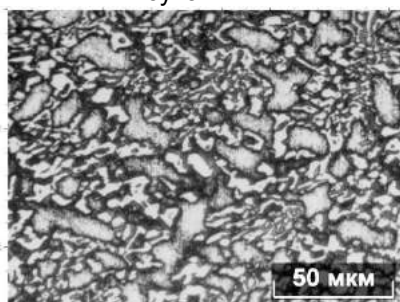
1 представлены на рис. 2 и в табл. 2. Металлографическим анализом определено, что структура состоит из избыточных дендритов аустенита и аустенитокарбидной эвтектики розеточного строения. Установлено, что в структуре чугуна – карбиды типа M_7C_3 .



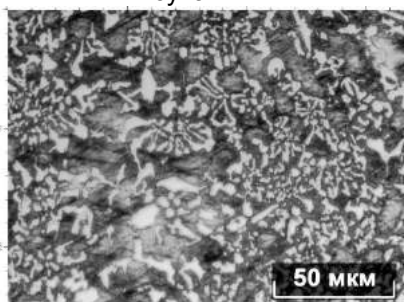
сухая ПГФ



сухая ПГФ



сырая ПГФ



сырая ПГФ

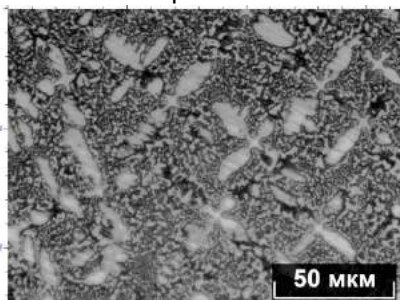
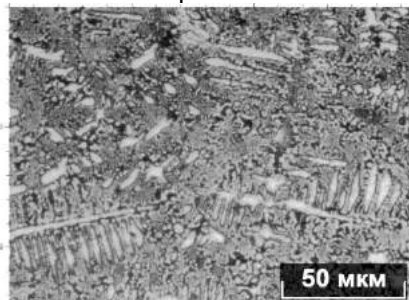
кокиль
×500
акокиль
×500
б

Рис. 2. Микроструктура чугуна ИЧХ28Н2: а – не модифицированного; б – модифицированного БФТ-1 в количестве 5 кг/т

С увеличением скорости охлаждения снижается количество и размеры дендритов первичного аустенита, микротвердость металлической основы (с 471 до 453 HV) и эвтектики (с 857 до 528 HV), растет дисперсность и объемная доля аустенитокарбидной эвтектики.

Таблица 2
Влияние БФТ-1 на микротвердость структурных составляющих чугуна ИЧХ28Н2

Количество БФТ-1, кг/т	Тип формы	Значение микротвердости HV		
		Матрица	Эвтектика	Карбиды хрома
0	сухая	471	857	1303
	сырая	468	761	1256
	кокиль	453	528	-
5	сухая	461	940	1431
	сырая	663	994	1383
	кокиль	566	775	-
7	сухая	435	672	1373
	сырая	563	958	1350
	кокиль	548	667	-
9	сухая	458	698	1360
	сырая	493	740	-
	кокиль	562	813	-

Модифицирование чугуна изменяет форму и размеры первичного аустенита и аустенитокарбидной эвтектики. Объемная доля и размеры дендритов аустенита уменьшаются. Первичный аустенит в структуре модифицированных чугунов, залитых в сухую и сырую ПГФ, приобретает форму, близкую к равноосной. Обработка расплава БФТ-1 в количестве 5 кг/т повышает микротвердость металлической основы (с 468 до 663 HV) и эвтектики (с 761 до 994 HV), увеличивается ее дисперсность и объемная доля, что обеспечивает повышение износостойкости.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- модификатор БФТ-1 технологичен при использовании;
- максимальное усвоение элементов из БФТ-1 достигается при следующих технологических параметрах: ввод добавки при перегреве над температурой ликвидус на 100°С, что соответствует

1370°C, и времени выдержки не менее 3 мин. Алюминий и кремний, в составе БФТ-1, являются добавками, необходимыми для раскисления расплавов;

- рафинирующе-модифицирующий материал БФТ-1 повышает комплекс свойств чугуна ИЧХ28Н2. Наибольшие показатели свойств соответствуют количеству добавки 5 кг/т расплава при остаточном содержании бора 0,012%, титана – 0,12%. Наилучшие результаты наблюдаются при заливке расплава в сырую ПГФ. Коэффициент износостойкости при заливке расплава в сырую ПГФ увеличился на 17%, в сухую ПГФ на 13%, в кокиль $K_{и}$ уменьшился.

Библиографический список

1. Воронков Б.В., Колокольцев В.М., Петроченко Е.В. Комплексно-легированные белые износостойкие чугуны / под ред. В.М. Колокольцева. Челябинск: Печатный салон «Издательство РЕКПОЛ», 2005. 178 с.
2. Колокольцев В.М., Брялин М.Ф., Гольцов А.С. Повышение эксплуатационных свойств отливок из жароизносостойких хромомарганцевых чугунов // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2007. №4. С. 22-25.
3. Колокольцев В.М., Сысоев А.М., Бахметьев В.В. Рафинирование и модифицирование стали 110Г13Л комплексом титан-боркальций // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2007. №1. С. 19-22.

УДК 621.787.669

К.Н.Вдовин, М.А. Кольга

Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова

ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ КРУГЛОГО ПРОКАТА ПОД ПОКРЫТИЕ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ

Производство биметаллической проволоки представляет собой сложный технологический процесс. Подготовка поверхности под покрытие является одним из наиболее ответственных этапов,

который предопределяет качество, стойкость и долговечность покрытия, степень сцепления компонентов биметалла и антикоррозионные свойства проволоки.

В общем случае процессы очистки поверхности можно разделить на две категории: химические и механические.

Недостатки химических методов – это потери металла, наводороживание его поверхности и образование значительных объемов токсичных сточных вод, требующих дорогостоящей утилизации. Кроме того, большинство химических растворителей вредны для окружающей среды и здоровья человека. Однако, благодаря своей надежности, химические методы удаления окалины получили широкое распространение.

Главной проблемой механических способов очистки является несовершенство применяемого оборудования, которое зачастую не обеспечивает необходимого качества и скорости обработки, отличается сложностью конструкции и большими габаритами и, следовательно, ограничено в применении на непрерывных технологических линиях. Но, несмотря на все недостатки, присущие данной технологии, ее явные преимущества (в первую очередь, это экологические и экономические показатели) заставляют обратиться к доработке всего технологического процесса и соответствующего ему оборудования.

В качестве оборудования первичной очистки в технологической линии может быть использовано устройство для очистки длинномерных изделий круглого проката от окалины (RU № 89007 U1, рис. 1). К достоинствам данного устройства относятся:

- компактность;
- простота конструкции;
- возможность установки в потоке прокатных и волочильных станов;
- высокая эффективность и скорость зачистки;
- равномерность обработки и высокое качество очистки поверхности;
- высокий уровень автоматизации.

Цилиндрический корпус установки при помощи клиноременной передачи приводится во вращение валом ротора. Очищаемая проволока подается через центральное отверстие в боковой стенке корпуса.

Удаление окалины с поверхности заготовки происходит внутри корпуса в иглофрезерном узле. Наряду с ним в корпусе

установлены три вала с закрепленными на них сателлитными шестернями и звездочками цепной передачи (рис. 2, а). Иголфрезерный узел выполнен в виде планетарного механизма с подвижным цепным зацеплением (рис. 2, б).

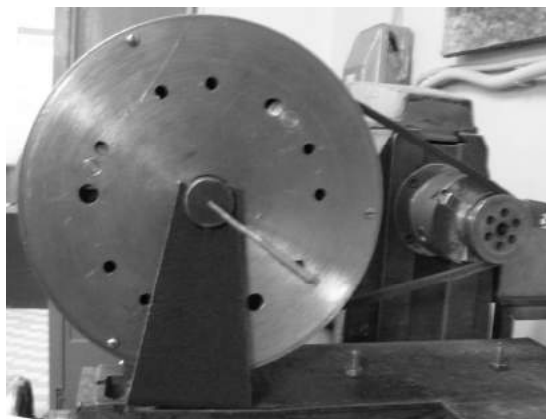


Рис. 1. Установка для очистки проволоки от окалины



а



б

Рис. 2. Корпус планетарного механизма (а)
и иголфрезерный узел (б)

При вращении корпуса сателлитные шестерни и звездочки получают вращение относительно собственных осей и оси корпуса. Благодаря зацеплению сателлитных звездочек с цепью иголфрезерного узла, обеспечивается планетарное вращение иголфрез вокруг проволоки. Обегая очищаемую заготовку по периметру, иголфрезы снимают с ее поверхности слой окалины и загрязнений.

Кроме того, конструкционные особенности установки, описание которых выходит за рамки данной статьи, обеспечивают саморегулирование прижатия иглофрез к обрабатываемой поверхности. Это способствует увеличению скорости и качества очистки проката.

По завершении щеточной очистки необходимо удалить с поверхности заготовки остаточные загрязнения в виде металлических частиц, пыли, масляных следов и т.п. Данная процедура может производиться с помощью разнообразных способов тонкой очистки.

Выбор оборудования для тонкой очистки, как правило, осуществляют, исходя из особенностей технологического процесса, требуемых свойств готового изделия, а также принимая во внимание техническую базу предприятия.

Использование для тонкой очистки ванн ультразвуковой промывки представляется одним из наилучших решений в условиях небольшого метизного предприятия. Ультразвуковая промывка позволяет обеспечить быструю и качественную очистку проволоки от различных технологических загрязнений, является эффективным, экологически чистым и энергосберегающим методом.

Высокая эффективность очистки объектов внутри ультразвуковой ванны основана на эффекте кавитации.

Существует множество факторов, влияющих на эффективность ультразвуковой очистки. Наиболее важными являются: правильный выбор чистящего раствора, его температуры, частота ультразвука и продолжительность очистки.

При выборе моющей среды необходимо учитывать характер загрязнений: степень их адгезии к очищаемой поверхности, химическое взаимодействие с моющим раствором, способность противостоять воздействию микроударных нагрузок (кавитационную стойкость).

Неорганические загрязнения в виде частиц и пыли, механически слабо связанные с поверхностью деталей, сравнительно легко удаляются в обычной воде. Масляно-жировые загрязнения очищаются щелочными растворами за счет эмульгирования.

Оптимальной температурой раствора для ультразвуковой очистки является 40–60⁰С, так как при более низкой температуре снижается химическая активность раствора, а при более высокой – повышается упругость пара внутри кавитационной полости, что приводит к снижению интенсивности кавитационного воздействия.

Диапазон частот для устройств ультразвуковой очистки лежит в пределах от 20 до 80 кГц. При низких частотах действие кавитации наиболее эффективно, но чрезмерное снижение частот недопустимо, поскольку при этом возрастает риск повреждения обрабатываемой поверхности. Опытным путем было установлено, что частота 27 кГц идеально подходит для чистки, обеспечивая при этом превосходное качество.

Применение ультразвуковых колебаний для интенсификации процессов промывки и обезжиривания позволяет существенно улучшить качество подготовки поверхности проволоки к последующему нанесению покрытия.

Непосредственно перед операцией нанесения покрытия необходимо осуществлять контроль качества очистки.

В настоящее время существует большое количество способов оценки чистоты поверхности:

- визуальный (посредством невооруженного глаза или с помощью лупы или микроскопа);
- оптический (с помощью двойного микроскопа);
- интерференции световых волн;
- ощупывания иглой оптико-механическим и электромеханическим способом;
- пневматическим, основанным на продувании воздуха через зазоры между головкой прибора, наложенной на контролируемую поверхность, и шероховатостями.

В производственных условиях, особенно на небольших предприятиях, где при контроле чистоты поверхностей не требуется количественной оценки микронеровностей, как правило, применяется визуальный способ. Сравнение обработанной поверхности с рабочим эталоном дает основание определить соответствующий класс чистоты обработки.

К достоинствам этого способа контроля относятся: наглядность, простота и быстрота проверки, а к недостаткам – субъективность оценки, необходимость наличия большого количества эталонов, изменение поверхности эталонов со временем.

Чтобы устранить человеческий фактор, предлагается автоматизировать процесс оценки качества очистки за счет применения компьютерного анализа. Специально для этой цели был разработан программный продукт, позволяющий определять уровень остаточных загрязнений на поверхности проволоки методом сопоставления с эталоном. Объектом анализа являются фотоснимки, получаемые с видеокамеры, которая фиксирует внешний вид проволоки после

очистки. На рис. 3 показана совместная работа устройства щеточной очистки круглого проката от окалина и программно-аппаратного комплекса для определения качества очистки.

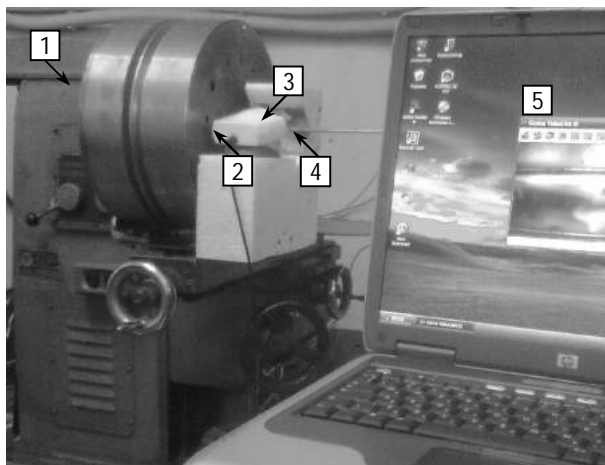


Рис. 3. Система контроля качества очистки

На выходе из устройства щеточной очистки, которое обозначено на рисунке позицией 1, обрабатываемая заготовка попадает в область видимости видеокамеры 2. Благодаря системе зеркал 3, поверхность очищенной проволоки 4 полностью просматривается с рабочего места оператора 5, что обеспечивает более тщательный контроль над процессом.

Отклонения состояния реальной поверхности от идеального фиксируются, суммируются и на основе полученных значений производится расчет коэффициента загрязненности.

В соответствии с ГОСТ 9.402-80 «Покрyтия лакокрасочные. Подготовка металлических поверхностей перед окрашиванием», устанавливающим требования к качеству подготовки металлической поверхности перед нанесением покрытий, выделяются четыре степени очистки поверхности черных металлов от окалина и продуктов коррозии:

- 1 – при осмотре с 6-кратным увеличением окалина и ржавчина не обнаруживаются;
- 2 – при осмотре невооруженным глазом не обнаруживаются окалина, ржавчина, пригар, остатки формовочной смеси и другие неметаллические слои;

3 – не более чем на 5% поверхности имеются пятна и полосы плотно сцепленной окалины и литейная корка, видимые невооруженным глазом. На любом из участков поверхности изделия окалиной занято не более 10% площади пластины 25x25 мм;

4 – с поверхности удалены ржавчина и отслаивающаяся окалина.

Интерфейс программы предусматривает возможность изменения настроек в зависимости от требуемого качества очистки.

Основной функцией приложения является фиксация случаев превышения порогового значения коэффициента загрязненности, соответствующего выбранному классу чистоты, и сообщение об этом оператору.

Таким образом, поскольку качество готового продукта во многом определяется еще на начальных этапах обработки, то совершенствованию соответствующего технологического процесса и оборудования необходимо уделять особое внимание.

Разработка высокотехнологичных и автоматизированных, а также рентабельных процессов подготовки поверхности должна стать одним из основных направлений развития метизного производства.

УДК 674.8

А.П. Фирстов, А.Ю. Татаринова

Нижнетагильский технологический институт
(филиал) УГТУ-УПИ

ПРИМЕНЕНИЕ ЖИДКОСТЕКООЛЬНОГО СВЯЗУЮЩЕГО ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ МЕЛКИХ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

Из промышленной практики известно, что в различных видах деревообработки образуется большое количество мелких древесных отходов, которые практически не находят применения и складываются в отвалы. Такое складирование мелких древесных отходов приводит к засорению больших земельных участков, ухудшает экологическую обстановку.

Целью данной работы являлось изучение возможности получения древесно-минерального композиционного материала из смеси мелких древесных отходов и натриевого жидкого стекла.

Для приготовления древесно-минеральной композиции использовались древесные отходы (опил, станочная стружка) и жидкое стекло с добавками инициатора твердения. В качестве инициатора применялся гексафторсиликат натрия (Na_2SiF_6).

Смешивая указанные компоненты, можно получить теплоизоляционный материал, который заполнит любые пустоты в строительных и других конструкциях (рис.1). Теплоизоляционные материалы промышленного назначения часто делают пористыми, поскольку удельная теплопроводность воздуха мала.



Рис.1. Теплоизоляционный материал в виде блоков

Результаты исследований по получению теплоизоляционного материала представлены на рис. 2 и 3.

На рис. 2 представлена зависимость предела прочности при сжатии от количества вводимого в жидкое стекло гексафторсиликата натрия при температуре 18–20°C. Полученные данные говорят о том, что предел прочности при сжатии увеличивается до 1,75 и 2,5 кг/см². В связи с этим можно рекомендовать добавлять в жидкое стекло гексафторсиликат натрия в количестве 8 – 10%.

При изготовлении композиционного материала важное значение имеет определение соотношения древесного заполнителя и жидкого стекла, чтобы получить достаточную прочность материала при сжатии.

Из рис.3 можно заметить, что $\sigma_{сж}$ напрямую зависит от количества жидкого стекла, добавляемого в древесный наполнитель. Рассматриваемые соотношения (от 1:0,5 до 1:4) позволяют сделать вывод о том, что соотношение древесины к жидкому стеклу 1:3 позволяет получить прочность материала при сжатии на уровне 9,8 кг/см².

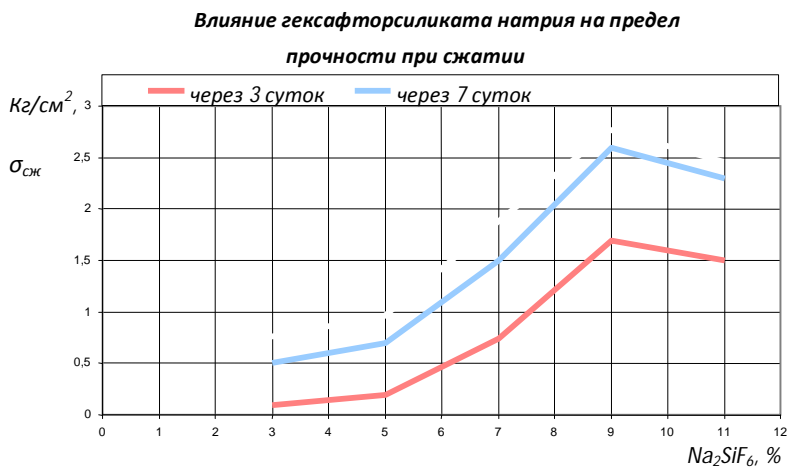


Рис. 2. Влияние количества инициатора твердения на предел прочности при сжатии



Рис.3. Предел прочности при сжатии образцов теплоизоляционного материала

Таким образом, экспериментальные данные позволяют утверждать, что имеется возможность получить теплоизоляционный материал с использованием натриевого жидкого стекла при соотношении древесных отходов и жидкого стекла 1:3. Добавление к жидкому стеклу гексафторсиликата натрия в количестве 10% создает условия для более полного выделения геля кремнезема, который по мере обезвоживания цементирует древесный наполнитель.

Предлагаемый композиционный материал биостоек, экологически чистый, менее возгораемый, чем массивная древесина.

Библиографический список

1. Вьюнков С.Н. Технология древесных плит с использованием связующего на основе жидкого стекла. М., 1999. 151 с.
2. Коробов В.В. Комплексное использование низкокачественной древесины и отходов. М., 1973. 241 с.

УДК 669.1.013.52:005.334

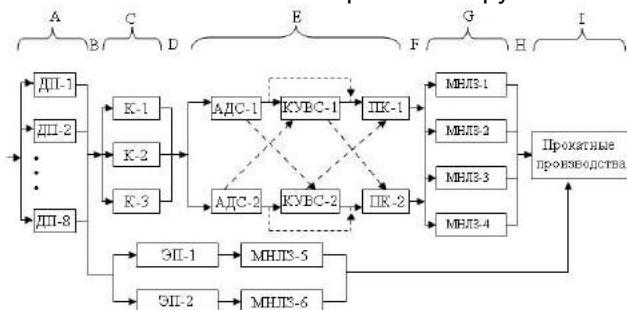
**М.А. Радуль, М.Г. Сулейманов,
Л.Ш. Тимиргалеева, А.К. Шакирова**

Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И.Носова

ОЦЕНКА СОВМЕСТИМОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СЛОЖНЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПРОМЫШЛЕННЫХ РИСКОВ

Под сложными системами следует понимать многофазные системы с отказами. В каждой фазе может происходить обработка материалов рядом последовательно расположенных машин (одноканальные системы) или несколькими параллельно расположенными агрегатами (многоканальные системы). Одноканальные системы имеют более низкую пропускную способность, чем многоканальные системы.

К сложным техническим системам следует отнести металлургические комплексы, предназначенные для получения чугуна, стали, проката и т.д. Процесс обслуживания заключается в пофазной обработке продукции предыдущей стадии для получения заданного изделия. Применительно к ОАО «ММК» упрощенная схема многофазовой системы представлена на рисунке (стрелками указаны фактические и возможные направления грузопотоков).



Упрощенная схема производственного процесса ОАО «ММК»:

ДП – доменные печи; К – конвертеры; АДС – агрегаты доводки стали; КУВС – комбинированные установки вакуумирования стали; ПК – печи ковши; МНЛЗ – машины непрерывного литья заготовки; ЭП – электродные печи.

При рассмотрении схемы предполагается, что входящий поток (процесс поступления материалов в систему массового обслуживания) является вероятностным, то есть системами с отказами. Как и в простейших системах, отказы имеют свойство стационарности и ординарности. Так как отказы, как правило, имеют мгновенный характер появления, процесс эксплуатации стабилизирован, поэтому поток считаем простейшим.

В настоящей работе рассматриваются проблемы выхода из строя оборудования на любой из фаз (А...G – доменное – кислородно-конверторное производство).

Предполагается, что отказы устраняются в течение определенного промежутка времени. Типовые задачи выхода из строя приборов и их восстановления довольно подробно описаны в работах [1, 3, 4].

Для решения задачи расчета вероятности отказов в фазе «А» (доменное производство) примем, что в систему поступает непрерывное число требований. Печи работают поочередно со-

гласно контактными графикам. Такие системы в теории массового обслуживания называют разомкнутыми. Предполагается: поток требований велик, в течение заданного промежутка времени они могут колебаться (из-за собственных отказов, отказов в работе поставщиков ресурсов, отказов потребителей и т.д.). Выполнение заказа является случайным, пуассоновским процессом. Возможное состояние таких систем может быть описано системой дифференциальных уравнений [2, 5].

$$\begin{aligned} -\lambda \cdot P_0 + \gamma \cdot P_1 &= 0; \\ -(\lambda + k \cdot \gamma) \cdot P_k + (k+1) \cdot \gamma \cdot P_{k+1} + \lambda \cdot P_{k-1} &= 0, \text{ при } k \leq n, \end{aligned} \quad (1)$$

где λ – плотность потока заявок (входящих требований), ед. потока (определяется как количество выпусков или продукции, количество выполненных плавков и т.д.);

$\gamma = 1/t_{\text{обс}}$ – параметр потока обслуживания заявки;

$t_{\text{обс}}$ – время обслуживания единицы заявки, ед. времени;

P_0, P_k – соответственно вероятности состояний, когда в системе (первой фазе) отсутствуют или находятся k требований;

n – всего работающих агрегатов в системе.

Решение уравнений (1) осуществляется с использованием

нормирующего условия $\sum_{k=0}^{\infty} P_k = 1$.

В результате получено:

- вероятность того, что все агрегаты (в данном случае – доменные печи) первой фазы свободны от работы:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{n-1} \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{(n-1)!(n-\alpha)}}, \quad (2)$$

где $k = 1, 2, 3, \dots, n$ – количество одновременно рассматриваемых агрегатов;

- вероятность занятости работой k агрегатов:

$$P_k = \frac{\alpha^n \cdot P_0}{(n-1)!(n-\alpha)}. \quad (3)$$

- вероятность простоя оборудования из-за возникающих инцидентов:

$$Q_k = 1 - P_k.$$

4)

- коэффициент загруженности оборудования:

$$K_3 = \frac{N_3}{n} = \frac{n - N_0}{n} = 1 - \frac{\sum_{k=0}^{n-1} \frac{n-k}{k!} \cdot \alpha^k \cdot P_0}{n}, \quad (5)$$

где $\alpha = \lambda / \gamma = \lambda \cdot t_{\text{обс}}$ – параметр, характеризующий поток заявок и их обслуживание;

N – среднее количество агрегатов, занятых обслуживанием;

N_0 – среднее количество агрегатов, свободных от обслуживания.

В фазе «В» осуществляется параллельная подготовка исходных материалов для плавки (доставка и перелив чугуна, подготовка лома и шихтовых материалов). Подача лома и чугуна производится в загрузочном пролете двумя завалочными кранами грузоподъемностью 130 т и двумя литейными кранами грузоподъемностью 450 т соответственно. Шихтуемые материалы подают сверху по тракту сыпучих материалов. Вспомогательные операции по перемещению грузов осуществляются с помощью электромостового крана грузоподъемностью 10 т.

Работу конверторов (фаза «С») можно рассматривать как систему, функционирующую по контактному графику. Поэтому здесь применимы для расчета вероятности отказов и безотказной работы формулы (2) – (5).

Перемещение металла от конверторов к агрегатам доводки стали (фаза «D») осуществляется в следующей последовательности: слив металла из конвертора в сталеразливочный ковш, установленный на сталевозе; раскисление и легирование стали; транспортировка стальной ванны с помощью трех сталевозов для доводки и разлива стали.

Фаза «E» рассматривается как параллельная работа двух последовательных линий (АДС – КУВС – ПК) по любому из направлений. Для последовательно работающих агрегатов вероятность:

$$\text{безотказной работы } P_{Ei} = P_{\text{АДС}i} \cdot P_{\text{КУВС}i} \cdot P_{\text{ПК}i};$$

$$\text{отказов } Q_{Ei} = 1 - P_{Ei},$$

где i – номера агрегатов в рассматриваемой фазе;

$$P_i = \frac{T_{\text{раб}}}{T_{\text{раб}} + T_{\text{восст}}}, \quad (6)$$

где $T_{\text{раб}}$ – фактическое время работы агрегата, ч;

$T_{\text{восст}}$ – среднее время, в течение которого агрегат находился на восстановительном ремонте в результате инцидентов, ч:

$$T_{\text{раб}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{ремонт}} - T_{\text{восст}}, \quad (7)$$

$T_{\text{кал}}$ – общий годовой баланс времени (8760 ч);

$T_{\text{ремонт}}$ – время, необходимое для производства всех видов ремонтных работ и осмотров, предусмотренное системой планово-предупредительных ремонтов, ч.

Для параллельно работающих линий вероятности отказов и безотказной работы соответственно составляют:

$$Q_E = (1 - P_{E1})(1 - P_{E2}); \quad P_E = 1 - Q_E.$$

В фазе «F» перемещают переработанную сталь с помощью литейных кранов грузоподъемностью 500 т на МНЛЗ.

Фаза «G» предусматривает разливку стали на машинах (МНЛЗ). Все они работают одновременно и параллельно. Поэтому вероятность отказов составляет

$$Q_G = (1 - P_{G1})(1 - P_{G2})(1 - P_{G3})(1 - P_{G4}),$$

а безотказной работы

$$P_G = 1 - Q_G.$$

Фаза «H» предназначена для разделки, подготовки, складирования заготовок.

Для надежной работы всей системы A, B, C, D, E, F, G требуется, чтобы успешно работало каждое звено. По правилу оценки вероятности совместного появления n независимых событий, определяемого произведением вероятностей появления каждого из них в отдельности, получаем вероятность безотказной работы металлургического комплекса:

$$P_0 = P_A P_B P_C P_D P_E P_F P_G, \quad (8)$$

где P_A, P_B, \dots, P_G – вероятности безотказной работы каждого из звеньев (фаз) технологического процесса. Оценку вероятностей безотказной работы следует осуществлять по выражениям, приведенным ниже.

В качестве примера выполнен расчет, базирующийся на экспериментальных данных ККЦ. Установлено, что при очень высокой надежности работы агрегатов каждой фазы ($P_A = 0,956, P_B = 0,998, P_C = 0,968, P_D = 0,984, P_E = 0,922, P_F = 0,988, P_G = 0,931$) общая безопасность работы снижается и составляет $P_0 = 0,771$. Таким образом, при весьма высокой надежности работы каждой из фаз общая вероятность отказов достигает 23%.

Пропускная способность сложной системы зависит от наличия так называемых «узких мест». Если пропускная способность

одной из фаз мала, система в значительной мере аварийна, имеет место высокий уровень производственного риска, то проблема решается возможностью резервирования, реконструкцией этого узла, рассмотрением вопроса о необходимом количестве ремонтных бригад и т.д. При оценке вероятности отказа сложной системы «узкими местами» следует считать состояние техники, качества человека и надежность обеспечения ресурсами.

Если предыдущая фаза обладает большей производительностью, чем последующая, то последняя становится «узким местом» в производстве и приводит к блокировке предыдущей фазы. Если последующая фаза имеет большую производительность, то возникает определенный резерв в работе агрегатов этой фазы. Поэтому появляется проблема в решении задачи о совместимости производственной мощности различных участков. Решение поставленной задачи рассмотрим на примере совместной работы любых последовательно работающих фаз при условии поступления в нее пуассоновского потока требований с плотностью λ и показательного закона времени обслуживания агрегатами этих фаз.

Предположим, что имеется N источников появления требований на обслуживании двухфазной системы. Время обслуживания каждого агрегата подчинено показательному закону с параметрами $\gamma_1 = 1/t_{\text{обс1}}$ (для доменного производства) и $\gamma_2 = 1/t_{\text{обс2}}$ (для конверторного производства). Примем, что производительность агрегатов двух фаз (двух цехов) разная. Основной особенностью работы такой системы является ограниченность потока требований. Система уравнений для этого случая имеет вид [1, 4, 5]:

$$P'_{00}(t) = \lambda \cdot P_{00}(t) + \gamma_2 \cdot P_{0,1}(t);$$

$$P'_{n_1, n_2}(t) = -(\gamma_1 + \gamma_2) \cdot P_{n_1, n_2}(t) + \gamma_2 \cdot P_{n_1+1, n_2-1}(t) + \lambda \cdot P_{n_1-1, n_2}(t), \quad (9)$$

при $n_1 > 0, n_1 + n_2 = N, n_2 > 0$.

Решение этой системы уравнений для стационарного случая имеет вид:

- вероятность того, что обе фазы свободны от обслуживания:

$$P'_{00} = \frac{(\alpha_1 - \alpha_2) \cdot (1 - \alpha_1) \cdot (1 - \alpha_2)}{(\alpha_1 - \alpha_2) - (\alpha_1^{N+2} - \alpha_2^{N+2}) + \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot (\alpha_1^{N+1} - \alpha_2^{N+1})}; \quad (10)$$

- вероятность простоя оборудования первой фазы:

$$Q_{0,1} = \frac{\alpha_2}{1 - \alpha_2} \cdot P_{00}; \quad (11)$$

- вероятность простоя оборудования второй фазы:

$$Q_{0,2} = \frac{\alpha_1}{1 - \alpha_1} \cdot P_{00}. \quad (12)$$

Величина α определяется:

$$\alpha_1 = \frac{\lambda}{\gamma_1} \text{ и } \alpha_2 = \frac{\lambda}{\gamma_2}. \quad (13)$$

Использование выражений (11) – (13) рассмотрим на этапах производства «чугун-сталь» (см. рисунок, фазы А – С). Необходимо выплавить 10 млн т. стали. Расход чугуна на одну тонну стали составляет 0,85 т, общий расход чугуна – 8,5 млн т. Достигнуты следующие производительности: по чугуну восемь ($N = 8$) печами $\gamma_1 = 1175$ т/ч; по стали тремя конвертерами – 1538 т/ч (конвертерами по чугуну $\gamma_2 = 1538 \cdot 0,85 = 1307$ т/ч).

Интенсивность заказов λ определим из условия, что процесс организации непрерывный и составляет $\lambda = \frac{8500000}{365 \cdot 24} = 970$ т/ч чугуна.

Определим α_1 и α_2 [формула (13)]:

$$\alpha_1 = \frac{970}{1175} = 0,83, \quad \alpha_2 = \frac{970}{1307} = 0,69.$$

Вероятность того, что обе фазы будут свободны от обслуживания [формула (10)]:

$$P'_{00} = \frac{(0,83 - 0,69) \cdot (1 - 0,83) \cdot (1 - 0,69)}{(0,83 - 0,69) - (0,83^{10} - 0,69^{10}) + 0,83 \cdot 0,69 \cdot (0,83^9 - 0,69^9)} = 0,077.$$

Вероятность простоя первой фазы [формула (11)]:

$$Q_{0,1} = \frac{0,69}{1 - 0,69} \cdot 0,077 = 0,17.$$

Вероятность простоя второй фазы [формула (12)]:

$$Q_{0,2} = \frac{0,83}{1 - 0,83} \cdot 0,077 = 0,37.$$

Анализ расчетов показывает, что у второй фазы имеется некоторый резерв, что позволяет принять меры к увеличению произ-

водства стали. Для первой фазы снижение вероятности простоев может быть обеспечено поставкой чугуна на другие объекты (например, в электросталеплавильное производство и др.).

Библиографический список

1. Гнеденко Б.В., Беляев Б.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1965. 524 с.
2. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Лекции по теории массового обслуживания. Киев, 1963.
3. Севастьянов Б.А. Эргодическая теория для марковских процессов и ее приложение к телефонным системам с отказами // Теория вероятностей и ее приложения. 1957. Т.2. Вып. 1.
4. Кодгман Л., Крюон Р. Массовое обслуживание. Теория и приложение. М.: Мир, 1965.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969.

УДК 378.147.016:159.9

С.З. Михайлова

Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И.Носова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕССЕ ПРЕПОДАВАНИЯ ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН

Повышение качества подготовки специалистов - первоочередная задача Концепции модернизации российского образования на период до 2010 года. Решение этой задачи в педагогике высшей школы осуществляется с использованием разнообразных методов и средств. Причем, внедрение инновационных технологий в процесс обучения в вузе является одним из приоритетных направлений, так как использование педагогических технологий в образовательном процессе предполагает осуществление личностно-ориентированного обучения специалистов, проектирование технологической цепочки процедур, методов, организационных форм

взаимодействия студентов и преподавателя, обеспечение определенных результатов обучения. В статье описывается опыт использования технологий самопознания и метод проектов в преподавании дисциплины «Психология и педагогика».

Дисциплина «Психология и педагогика» читается всем студентам технических специальностей Магнитогорского государственного технического университета. Целью преподавания дисциплины является формирование психолого-педагогической культуры специалиста. Психолого-педагогическая культура специалиста включает: знания о природе человеческой психики, ее функциях и проявлениях, о природных и социальных факторах, определяющих формирование личности и индивидуальности, о современных образовательных технологиях, методах, формах, средствах обучения и воспитания; умения провести психолого-педагогический анализ личности и составить психологический портрет; осознание ценности образования его значимости для личностного и профессионального становления.

Дисциплина «Психология и педагогика» не относится к специальным в техническом вузе, но, тем не менее, вызывает интерес у студентов. Опыт преподавания дисциплины на факультетах экономики и права, химико-металлургическом, механико-машиностроительном, технологии и качества, горных машин и транспорта показывает, что для студентов это не просто желание узнать, что-то новое вообще, а интерес к себе, желание узнать о себе как о человеке, индивиде, личности, индивидуальности, стремление использовать полученные психолого-педагогические знания в своей повседневной жизни.

Эти желания и стремление определяются тем, что время учебы в вузе совпадает со вторым периодом юности или первым периодом зрелости, который отличается сложностью становления нравственных качеств, личностных и профессиональных черт. В этом возрасте осуществляется осознание мотивов поведения, завершается формирование мировоззрения, дальнейшее определение перспектив личностного и профессионального развития. И чтобы принять взвешенное решение, студенту нужно хорошо знать не только обстоятельства и других людей, принимающих участие в его судьбе, но и самого себя, свои качества и возможности.

Опыт показывает, что стихийное познание себя не приводит к значимым результатам. Необходимо целенаправленное, осознанное самопознание, сопровождаемое специалистом, который, не навязывая стереотипов, вовремя поддержит, окажет помощь,

научит обращаться к собственному опыту или к опыту других людей, поможет составить целостную картину представлений о себе. Такая возможность студенту предоставляется в ситуации использования технологии самопознания в предметном обучении - возможность получать знания по дисциплине «Психология и педагогика» и изучать самого себя.

В научной литературе самопознание рассматривают как процесс познания себя, своих потенциальных и актуальных свойств, личных и интеллектуальных особенностей, поведенческих характеристик, отношений с другими, осуществляемый как во внешнем, так и во внутреннем мире [1].

Нами было опрошено 97 студентов факультетов экономики и права, горных машин и транспорта, химико-металлургического. Результаты опроса показали, что 96% постоянно испытывают интерес к своей личности. Интерес к себе возник: в детстве у 18% опрошенных студентов, в подростковом возрасте у 31%, в старших классах школы у 19%, в вузе у 11% (в процессе изучения дисциплины), 21% опрошенных студентов затрудняются ответить, в каком возрасте у них возник интерес к себе.

На вопрос «С какой целью Вы хотели бы заниматься самопознанием?» большинство опрошенных студентов ответили, что хотят усовершенствовать себя (70%); улучшить отношения с родителями (1%) и отношения со сверстниками (5%); использовать результаты самопознания для достижения личностных и профессиональных целей (40%).

Изучение особенностей своей личности студенты осуществляли на практических занятиях, отвечая на вопросы психологических методик (опросник Г. Айзенка (EPQ), методика Г. Шмишека, методика самоотношения Пантелеева, методика «Структура интеллекта», методика «Стили мышления, делового общения и поведения», методика К. Томаса и др.), участвуя в ролевых и дискуссионных играх, рассматривая различные жизненные ситуации. Полученные результаты студенты анализировали, сравнивали, оценивали и описывали в виде собственного психологического портрета.

Изучая свои личностные особенности, студенты отмечали, что самопознание трудная, но интересная работа, оно дает возможность перестроить свое отношение к себе и свое поведение, помогает объяснить причины тех или иных поступков, его можно использовать как средство достижения профессиональных и жизненных целей.

Как результат самопознания у студентов складывается система знаний о себе, формируется личностная идентичность, самопринятие, самоуважение, чувство собственной компетенции, осознание себя как ценности. Познавая себя, 21% опрошенных студентов осознали свою неповторимость и ценность, стали работать над собой 56%, улучшили отношения с родителями 14%; лучше стали понимать поведение одноклассников 23%, улучшились отношения с товарищами по группе у 5% опрошенных студентов.

Использование технологии самопознания в процессе преподавания дисциплины «Психология и педагогика» позволяет:

- активизировать и стимулировать процесс осмысления учения, студент входит в рефлексивную позицию, им осознается значимость получаемых знаний для личного и профессионального развития;

- осуществлять не только познавательную, но и нравственно-волевую регуляцию поведения студентов;

- систематически и последовательно формировать как общеучебные, так и специальные умения, навыки (проведение и обработка диагностических методик, контролировать свое поведение и др.);

- осуществить психолого-педагогическое сопровождение учения студентов.

Любая технология направлена на достижение четко поставленной цели и имеет определенные целевые ориентации. Целевые ориентации технологии метод проектов направлены на формирование проектной деятельности, проектного мышления; включение всех студентов в режим самостоятельной работы; самостоятельное приобретение недостающих знаний из разных источников и развитие умений пользоваться этими знаниями для решения новых познавательных и практических задач; развитие способностей к аналитическому, критическому и творческому мышлению; развитие исследовательских умений.

Метод проектов, как педагогическая технология, представляет собой развитие идей проблемного обучения, основывающегося на разработке и создании студентом под контролем преподавателя новых продуктов (проектов), обладающих субъективной или объективной новизной и имеющих практическое значение [2].

Выполняемые студентами проекты по дисциплине «Психология и педагогика» относятся к ознакомительно-ориентировочному или информационному типу проектов. Информационный тип проекта направлен на сбор информации о каком-то психолого-педагогическом явлении или проблеме, на анализ и обобщение полученных фактов, презентацию полученных результатов широкой аудитории. Структуру данного типа проекта можно представить следующим образом: цель проекта, его актуальность; источники информации (литературные, электронные, СМИ, анкетирование и др.); обработка информации (анализ, обобщение, сопоставление с известными фактами, аргументированные выводы); результат (реферат, доклад, статья); презентация (выступление с докладом на лекции, конференции, публикация статьи и др.).

На разработку информационного проекта в плане-графике самостоятельной работы студентов по дисциплине «Психология и педагогика» запланировано по 10 ч на каждого студента. Работа над проектом осуществляется группой студентов в количестве 4-6 человек в течение семестра.

Разработка проекта осуществляется поэтапно. На первом, организационно-подготовительной этапе осуществляется выбор темы и погружение в проект. На втором этапе разработки проекта планируется и организуется поисковая деятельность. На третьем, технологическом этапе осуществляется реализация запланированной деятельности. На заключительном этапе – презентация проекта и оценка результатов.

Отдельно следует сказать о внешней оценке разрабатываемых проектов, поскольку только таким образом можно отслеживать работу студентов над проектом и осуществлять своевременную коррекцию. Необходимость этой работы заключается в том, чтобы вовремя прийти на помощь, если она потребуется. Помощь оказывается не в виде готового решения, а в виде рекомендаций, т.е. преподаватель, являясь внешним экспертом, в необходимых случаях ненавязчиво оказывает помощь. На промежуточных этапах разработки проекта оценивается: собранный материал, адекватность его выбранной тематике; использование различных методов исследования и методов обработки получаемых результатов; активность каждого участника проекта в соответствии с его индивидуальными возможностями; коллективный характер принимаемых решений; характер общения и взаимопомощи, взаимодополняемо-

сти участников проекта. Характер оценки выражается в различных формах поощрения и поддержки. Критерии итоговой оценки проекта студенты разрабатывают совместно с преподавателем. Выделяемые критерии оценки проекта: научность проблемы, глубина проникновения в проблему, умение интересно ее подать, умение аргументировать свои заключения, оригинальность презентации, оформление результатов выполненного проекта согласно требованиям ГОСТ.

Презентацию проекта оценивают все: студенты других подгрупп, сами разработчики проекта и преподаватель. На заключительном этапе в процессе обсуждения выставляется итоговая оценка представленного проекта и по количеству набранных баллов определяется лучший проект и лучшие разработчики, они делегируются на ежегодную межвузовскую студенческую научно-практическую конференцию, проводимую в апреле в ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова» на кафедре педагогики и психологии. На материале проектов печатаются студенческие статьи.

Обобщая опыт использования технологии метод проектов в процессе преподавания дисциплины «Психология и педагогика», отметим, что информационный проект – это дидактическое средство, позволяющее обучать проектированию, а именно, учить: поиску нужной информации, планированию и целеполаганию учебно-познавательной деятельности, проведению исследования (выдвижению гипотезы, анализу и обобщению), практическому применению полученных знаний, умений и навыков в различных ситуациях, умению готовить материал для проведения презентации в наглядной форме. В процессе работы над проектом изменяется психологический климат в учебной студенческой группе - отношения становятся более доверительными, открытыми, появляются общие как учебные, так внеучебные взаимные интересы. Развивается интерес к психолого-педагогической проблематике, к работе в коллективе, к решению задач в сотрудничестве, к искусству владения коммуникацией.

Опираясь на результаты использования технологий самопознания и метод проектов в процессе преподавания психолого-педагогических дисциплин, отметим, что внедрение технологий самопознания и метод проектов позволяет, во-первых, повысить эффективность труда преподавателя (качество организации учебно-воспитательного процесса), во-вторых, повысить эффективность освоения студентом учебного материала по дисциплине (количество и качество знаний студентов) и, в-третьих, уделять

больше внимания вопросам личностного и профессионального роста студентов.

Библиографический список

1. Маралов В.Г. Основы самопознания и саморазвития. М.: Изд. центр «Академия», 2002.
2. Новые педагогические и информационные технологии в системе образования / под ред. Е.С. Полат. М.: Изд. центр «Академия», 2002.

УДК 669:66.012

Е.В. Сеницкий

Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И.Носова

КОМПЛЕКСНЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОТЛИВОК (КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ МЕТОД)

Решение проблемы обеспечения качества продукции литейного производства зависит от большого количества факторов. В производстве нашли широкое распространение два основных вида оценки качества:

1. Контроль для подтверждения соответствия нормативным требованиям, коррекции несоответствий и поиска возможностей повышения качества продукции совершенствования процессов её разработки и производства.

2. Количественный метод – позволяет контролировать фактические уровни специальных и служебных свойств.

Необходимость применения количественного метода может обуславливаться рядом объективных и субъективных причин, например:

- необходимо убедить потребителя в том, что качество предлагаемой продукции полностью отвечает его запросам и конкурентоспособно;
- потребителю необходимо выбрать один из образцов одной и той же однородной продукции;

- поставщику необходимо сравнить качество своей продукции с качеством аналогичной продукции, предлагаемой конкурентами.

Достоверность результатов оценки определяется, главным образом, следующими факторами:

- выбором показателей качества продукции;
- объемом выборки и методами определения фактических значений показателей;
- точностью и воспроизводимостью определения показателей качества.

Кроме того, производителей интересуют обобщенные показатели качества продукции, которые позволяют сопоставлять и ранжировать аналогичную продукцию по ее конкурентоспособности.

Количественный метод оценки качества продукции заключается в следующем.

1. Для однородной продукции выбирают состав оцениваемых показателей качества. Он зависит от цели оценки и обычно определяются требованиями потребителя продукции. Показатели качества группируются по этим существенным для потребителя требованиям. В состав оцениваемых показателей для промышленной продукции обычно включаются групповые и единичные показатели, такие как: назначение, показатели прочности, механических, специальных и служебных свойств, безопасности, экономичности.

То есть номенклатура показателей качества включает несколько групповых показателей первого уровня, каждый из которых характеризуется несколькими единичными показателями второго уровня. Например, механические свойства сплавов – групповой показатель первого уровня – характеризуется несколькими единичными показателями второго уровня – твердостью, пределом прочности на растяжение, относительным удлинением и сужением.

Показатели второго уровня будут также групповыми, а единичными будут показатели третьего уровня. Например, механические свойства сплавов – групповой показатель первого уровня – характеризуется рядом групповых показателей второго уровня, например комплексным легированием. В свою очередь, этот показатель характеризуется несколькими единичными – содержанием отдельных легирующих элементов: Cr, V, Ni, Mn, Si и т.д.

Состав оцениваемых показателей формируется в зависимости от требований, предъявляемых к продукции, и определяется на основании действующих ГОСТов и стандартов. Выбранный состав показателей качества должен быть убедителен для потенциального или конкретного потребителя во всех ситуациях оценки.

2. Для каждого выбранного единичного показателя качества устанавливаются допустимые значения – $P_{\text{доп}}$. Они выражаются в числовых величинах, имеющих размерности и могут быть замерены или вычислены. Как допустимые выбираются значения, установленные стандартами или потребителем. Таким образом, устанавливается стандартный, нормальный уровень качества данной продукции, выраженный через числовые, физические величины или признаки.

3. Фактические значения $P_{\text{факт}}$ выбранных показателей качества, определяются исходя из обобщения данных, которые получают при разработке, производстве, поставках и использовании продукции. За фактические значения принимаются значения результатов контрольных приемочных и последних периодических испытаний, а также средние значения результатов приемосдаточных испытаний. Если данных по какому-либо показателю качества нет, то проводится дополнительный цикл испытаний.

4. Оценка качества продукции предполагает сравнение фактического уровня качества образцов одной и той же продукции разных производителей между собой и со стандартным уровнем. Для облегчения сравнения качество характеризуется некоторым общим критерием, который обобщает значения всех показателей. Наиболее часто используется обобщенная оценка показателей качества в баллах.

Для этого, применительно к допустимым значениям, каждому групповому показателю первого уровня (например, назначение, надежность, безопасность и др.) ставится в соответствие, как правило, одна и та же величина – 100 баллов (она выбрана только исходя из условия получения значимо различающихся сумм баллов для фактических значений). Это значит, что групповые показатели первого уровня, как правило, не ранжируются, исходя из того, что для потребителя равно важны все они – назначение и безопасность, надежность и эргономичность. Однако в обоснованных случаях значимость какого-нибудь группового показателя может быть увеличена или уменьшена. Это выразится соответственно увеличением или уменьшением исходного группового количества баллов $B_{\text{доп}}$.

Если групповой показатель выражается через Y единичных показателей, то 100 баллов распределяются между этими показателями равномерно, так что каждый единичный показатель оценивается в $100 / Y$ баллов. Например, если для оценки выбраны такие единичные показатели, как предел прочности σ_e и твердость

НВ, то каждому из них ставится в соответствие по 50 баллов. Это будет исходное, допустимое количество баллов для данного единичного показателя – $B_{доп}$. Количество баллов, оценивающих единичные показатели качества, может делиться неравномерно, но не может превышать суммарно 100 баллов.

Фактические значения показателей качества также можно выразить в баллах. Для этого принимают, что зависимость между физическими значениями показателей качества и соответствующими им баллами является линейной.

Если сложить баллы для всех показателей, тогда эта сумма выразит интегральное, обобщенное качество данной продукции. Для допустимого уровня качества эта сумма составит $100 \times N$, где N – количество групповых показателей первого уровня. Для фактического уровня эта сумма есть $\Sigma B_{факт}$.

5. Важно оценить не только фактическое качество самой продукции, обобщая как можно больше данных о нем, но и условия её производства, чтобы быть более уверенными в стабильности оцененного уровня качества и, тем самым, в обоснованности оценки. Поэтому в количественном методе оценка качества продукции дополняется оценкой условий её производства.

Для оценки условий производства применяют следующие характеристики производства:

- опыт и объём производства оцениваемой продукции;
- организация производства и действующая на предприятии система управления качеством;
- планы и программы по улучшению качества и результаты их реализации;
- компетентность персонала, его подготовка и аттестация;
- состояние производственной инфраструктуры (помещений, технологического оборудования, оснастки, инструмента, их техническое обслуживание и ремонт);
- состояние проектной и технологической документации;
- метрологическое обеспечение производства;
- входной контроль закупаемых сырья, материалов и комплектующих изделий, операционный и приемочный контроль готовой продукции;
- уровень дефектности полуфабрикатов в процессе производства и готовой продукции, в том числе по рекламациям, и меры, принимаемые для их устранения;
- состояние лаборатории и испытательной базы (при её наличии);

- хранение сырья, материалов, комплектующих изделий и готовой продукции;
- отгрузка готовой продукции;
- результаты проверки производства уполномоченными органами.

Каждая из указанных выше характеристик производства оценивается в интервале баллов от 70 до 100, так что минимальная сумма баллов при оценке производства составляет 910, максимальная – 1300 баллов.

Количественный метод позволяет получать фактические значения выбранных показателей качества, определенные статистически на большом объеме данных, а также обобщенную, интегральную оценку в баллах как самой продукции, так и условий её производства.

В оценочной программе для конкретной продукции устанавливаются два интервала значений единичных показателей качества: стандартный и высший. Для этого, кроме допустимых, выбираются оптимальные значения каждого показателя качества $P_{опт}$. Затем интервал между допустимым и оптимальным значением делится на два интервала, граница между которыми обычно находится посередине. Оптимальные значения показателей качества – это предельно возможные и целесообразные значения с учетом их взаимосвязи. Например, нормируется минимально допустимая твердость, но ее максимум ограничен микроструктурой сплава, возможностями технологии и иными факторами. Величина твердости, оптимальная с учетом всех этих факторов, и будет оптимальным значением данного показателя качества.

В отдельных случаях допустимые и оптимальные значения или требования могут быть одинаковыми, т.е. стандартное и высшее качество характеризуется одним и тем же значением показателя, например специальные или служебные свойства сплавов. В этом случае, естественно, граничное значение показателя отсутствует.

Аналогично устанавливаются интервалы для стандартного и высшего интервалов качества в баллах. Баллы, соответствующие оптимальным значениям, определяются аналогично тому, как это делается для фактических значений единичных показателей качества. В отдельных случаях величина $B_{опт}$ может быть изменена в большую или меньшую сторону.

Принимается, что качество продукции соответствует высшему уровню, если одновременно выполняются следующие условия:

- Фактические значения 85% единичных показателей качества, в том числе обязательно показатели безопасности и органолептические показатели, равны или превышают их граничные значения, т.е. $P_{факт} \geq P_{гр}$. В состав этих показателей не входят показатели, для которых $P_{доп} = P_{опт}$.
- Сумма $B_{факт}$ при оценке качества продукции равна или больше суммы баллов, соответствующей границе между интервалами для стандартного и высшего качества.
- Сумма $B_{факт}$ при оценке производства равна или больше суммы баллов, соответствующей границе между интервалами для стандартного и высшего качества.
- Если фактическое значение хотя бы одного единичного показателя качества ниже допустимого $P_{факт} < P_{доп}$, то качество продукции не соответствует высшему уровню.

Количественный метод и использование методов обобщенной оценки с применением статистических данных позволяет установить единые требования к качеству однотипной продукции, выявлять и вносить коррективы на этапах технологических цепочек, на которых возможно отклонение от технических требований и появление брака продукции.

УДК 669.018.28:66.012

Е.В. Сеницкий

Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И.Носова

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ КАК ФАКТОР, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ КАЧЕСТВЕННОСТЬ ПРОДУКЦИИ

Процессы формирования качества продукции в литейном производстве являются многостадийными. Сложность технологических схем получения отливок приводит к широкой гамме возможных сочетаний факторов, обуславливающих качество выпускаемой продукции. Одним из факторов может являться процесс охлаждения и кристаллизации отливки.

По мере того как в той или иной части охлаждающейся от-

ливки создаются условия для осуществления фазового перехода из жидкого состояния в твердое, в соответствующем месте этой отливки начинается процесс кристаллизации, приводящий к формированию твердых кристаллов. Процесс кристаллизации развивается в соответствии с общими законами термодинамики. В изолированной системе самопроизвольно протекают только те процессы, которые приводят к уменьшению свободной энергии системы (энергии Гиббса). В реальных условиях металлы и сплавы переохлаждаются до начала кристаллизации. Чем выше степень переохлаждения, тем больше уменьшение энергии Гиббса и, следовательно, больше движущая сила перехода металла из жидкого состояния в твердое.

Расплавленные металлы практически никогда не являются гомогенными (однородными) жидкостями, в них всегда присутствуют тугоплавкие дисперсные частицы, которые участвуют в процессе кристаллизации. Применение подобных частиц, в частности при модифицировании сплавов, позволяет управлять микро- и макроструктурой сплавов, что непосредственно влияет на механические, специальные и служебные свойства сплавов и определяет качество выпускаемой продукции.

Кристаллизация металлов осуществляется в результате образования кристаллических зародышей, вырастающих затем в зерна или кристаллы. Спонтанно возникающие центры кристаллизации приводят к уменьшению объемной свободной энергии (G_V) и увеличению межфазной энергии (G_F) за счет появления поверхностей раздела. Для развития процесса кристаллизации необходимо увеличение поверхностной энергии компенсировать уменьшением объемной свободной энергии. Общее изменение энергии Гиббса в результате формирования твердой частицы сферической формы радиуса r описывается формулой

$$\Delta G = G_V + G_F = L\rho_0 (\Delta t/t\eta)(4/3)\pi r^3 + 4\pi r^2 \sigma_{т-ж},$$

где $\sigma_{т-ж}$ – межфазная энергия на границе твердой и жидкой фаз.

Зародыш может сохраняться, если ΔG при данном переохлаждении начнет уменьшаться. Для малой частицы отношение поверхности к объему слишком велико, чтобы удовлетворять этому условию. Но при определенном размере зародыша, который назван критическим $r_{кр}$, ΔG начинает уменьшаться. Зародыши, размеры которых больше $r_{кр}$, способны к существованию, так как они растут с уменьшением энергии. Критический размер зародыша определяется условием $[dG/dr] = 0$:

$$r_{кр} = 2\sigma_{т-ж}t_{пл}/(L\rho\Delta t),$$

где $t_{пл}$ – температура плавления металла.

Из данного уравнения следует, что критический размер зародыша будет тем меньше, чем меньше межфазное натяжение и больше переохлаждение.

Для образования кристаллических зародышей в жидкости требуются определенные условия. Необходимо, чтобы в расплаве возникли такие микрообъемы, в которых взаиморасположение атомов соответствовало бы кристаллической решетке твердого сплава.

Кристаллизация гомогенных металлов характеризуется двумя параметрами: скоростью возникновения зародышей (n) и линейной скоростью роста кристаллов (v). Гомогенный металл, охлажденный ниже t_n , остается, тем не менее, жидким. Интервал метастабильности роста Δt_v существенно меньше интервала метастабильности зарождения Δt_n , так как работа образования зародыша больше работы увеличения поверхности раздела твердой и жидкой фаз. Спонтанная кристаллизация начинается лишь при достижении значительного переохлаждения, соответствующего Δt_n , при котором образуются жизнеспособные зародыши. Для их дальнейшего роста не требуется дополнительная энергия, так как достигнутая степень переохлаждения значительно выше Δt_v .

При кристаллизации реальных расплавленных металлов, являющихся гетерогенными жидкостями из-за наличия в них большого количества твердых неметаллических дисперсных частиц, переохлаждение составляет 1–10°C. Процесс кристаллизации реальных металлов и сплавов существенно облегчается в присутствии в объеме жидкости твердых подложек – инициаторов зарождения твердой фазы. Однако и в этом случае формальным условием начала кристаллизации является достижение зародышами размеров более критических, т.е. их поверхность должна обеспечить уменьшение энергии Гиббса.

Различие кристаллизации гомогенных и гетерогенных металлов заключается в том, что в первом случае межфазная граница образуется только между твердой (кристаллизующейся) и жидкой фазами, а во втором возникают две межфазные поверхности: одна между твердой и жидкой фазами, а вторая между кристаллизующейся фазой и твердой подложкой. При наличии подложек поверхностная свободная энергия возрастает медленнее, что свидетельствует о возможности начала кристаллизации при меньшем

переохлаждении. Чем меньше значение σ_{m-n} , тем энергетически более выгоден процесс кристаллизации на подложке. Минимальное значение межфазной энергии на границе кристаллизующаяся фаза - подложка соответствует условию идентичности кристаллических решеток подложки и зародыша. С увеличением переохлаждения кристаллизация может развиваться на подложках с заметно отличающимися параметрами решетки по сравнению с кристаллизующимся металлом.

Рост кристаллов на изоморфных подложках начнется при переохлаждении, которое превышает Δt_v , но существенно меньшем Δt_n . При этом на поверхности подложек появляется слой кристаллизующейся фазы, и дальнейшая кристаллизация возможна при меньшем переохлаждении.

Твердые дисперсные частицы, существенно отличающиеся по параметрам кристаллических решеток от кристаллизующейся фазы, при определенных условиях могут активироваться и стать центрами зарождения кристаллов. Активация частиц происходит при выдержке твердого металла, в период которой по границе частица — металл возникает высокое межфазное натяжение. Оно тем больше, чем больше различие кристаллического строения контактирующих сред.

В зависимости от положения сплава на диаграмме состояния и интенсивности теплообмена в системе отливка - форма механизмы затвердевания отливок из чистого металла и сплава могут существенно различаться. Затвердевание чистых металлов и сплавов эвтектического состава протекает последовательно, начиная от поверхности контакта с формой до центра отливки. Последовательное затвердевание реализуется и для сплавов с интервалом кристаллизации $\Delta t_{кр} = t_n - t_c$ (где t_c - температура солидуса) и перепад температур по толщине стенки отливки Δt_1 отличаются незначительно.

$$\Delta t_{кр} / \Delta t_1 \approx 1.$$

Но в этом случае перед фронтом твердой корки металла образуется двухфазная зона. Объемное затвердевание отливок из сплавов типа твердых растворов возможно лишь при условии $\Delta t_{кр} / \Delta t_1 \gg 1$.

Исследования Н.Г. Гиршовича и Г.Ф. Баландина показали, что в реальных условиях кинетика кристаллизации определяется теплоотводом. Инструментом «приспособления» кристаллизации к теплоот-

воду служит переохлаждение. Параметры кристаллизации всегда соответствуют имеющемуся в данный момент переохлаждению.

Это в одинаковой степени справедливо как для объемного, так и для последовательного затвердевания. В последнем случае можно принять, что перед фронтом затвердевающего металла находится зона зарождения центров кристаллизации и их роста. Кинетика кристаллизации в этом случае зависит только от переохлаждения. Процесс начинается при достижении расплавом переохлаждения, которое определяет соответствующую скорость изотермической кристаллизации при постоянной температуре. В момент времени, когда переохлаждение достигает максимального значения, скорость теплоотвода и скорость кристаллизации выравниваются. Скорость кристаллизации не может значительно превосходить скорость теплоотвода, так как это приведет к отводу теплоты не только через твердую фазу, но и через расплав.

Таким образом, можно сделать вывод, что процессы, протекающие при кристаллизации литейных сплавов, являются одними из определяющих при формировании макро- и микроструктур отливок, их механических, эксплуатационных и специальных свойств, брака и, как следствие, являются определяющими в области качества получаемых отливок.

УДК 669:66.012

Е.В. Сеницкий

Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И.Носова

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Контроль качества независимо от совершенства применяемых для этого методик предполагает, прежде всего, выявление продукции, не соответствующей предъявляемым требованиям. Современные производства ориентированы не на выявлении брака, а на его предупреждение на основе контроля производственного процесса.

Целью методов статистического контроля является исключение случайных изменений качества продукции. Такие изменения вызываются конкретными причинами, которые нужно установить и устранить. Статистические методы контроля качества подразделяются на:

- 1) приемочный контроль по альтернативному признаку;
- 2) выборочный приемочный контроль по варьирующим характеристикам качества;
- 3) стандарты приемочного контроля;
- 4) система планов;
- 5) планы непрерывного выборочного контроля;
- 6) методы статистического регулирования технологических процессов.

Следует отметить, что статистический контроль и регулирование качества продукции хорошо известны и нашли широкое распространение.

Статистический приемочный контроль по альтернативному признаку. Основной характеристикой партии изделий по альтернативному признаку является доля дефектных изделий.

$$q = D/N,$$

где D – число дефектных изделий в партии объемом N изделий.

В практике статистического контроля доля q неизвестна и ее следует оценить по результатам контроля случайной выборки объемом n изделий, из которых m дефектных.

Под планом статистического контроля понимают систему правил, указывающих методы отбора изделий для проверки, и условия, при которых партию следует принять, забраковать или продолжить контроль.

Различают следующие планы статистического контроля партии продукции по альтернативному признаку:

- одноступенчатые планы (одна выборка);
- двухступенчатые планы (результаты контроля принимаются или отклоняются по одной (принимается) или двум (отклоняется) выборкам);
- многоступенчатые планы являются логическим продолжением двухступенчатых. На основании анализа первой выборки принимается решение о взятии второй выборки и так далее;
- последовательный контроль, при котором решение о контролируемой партии принимается после оценки качества выборок,

общее число которых заранее не установлено и определяется в процессе.

Одноступенчатые планы проще при организации контроля на производстве. Двухступенчатые, многоступенчатые и последовательные планы контроля обеспечивают большую точность принимаемых решений, но они более сложны в организационном плане.

Задача выборочного приемочного контроля фактически сводится к статистической проверке гипотезы о том, что доля дефектных изделий в партии равна допустимой величине.

Задача правильного выбора плана статистического контроля состоит в том, чтобы сделать ошибки первого и второго рода маловероятными. Ошибки первого рода связаны с возможностью ошибочно забраковать партию изделий; ошибки второго рода связаны с возможностью ошибочно пропустить бракованную партию.

Для применения статистических методов контроля качества продукции большое значение имеет наличие соответствующих руководств и стандартов, которые должны быть доступны широкому кругу инженерно-технических работников. Стандарты на статистический приемочный контроль обеспечивают возможность объективно сравнивать уровни качества партий однотипной продукции как во времени, так и по различным предприятиям. Стандарт должен содержать достаточно большое число планов, имеющих различные оперативные характеристики. Стандарт должен позволить выбирать планы контроля с учетом особенностей производства и требований потребителя к качеству продукции. В стандарте должны быть указаны различные типы планов: одноступенчатые, двухступенчатые, многоступенчатые, планы последовательного контроля и т.д.

Основными элементами стандартов по приемочному контролю являются:

1. Таблицы планов выборочного контроля, применяемые в условиях нормального хода производства, а также планов для усиленного контроля в условиях разладок и для облегчения контроля при достижении высокого качества.
2. Правила выбора планов с учетом особенностей контроля.
3. Правила перехода с нормального контроля на усиленный или облегченный и обратного перехода при нормальном ходе производства.

4. Методы вычисления последующих оценок показателей качества контролируемого процесса.

Одним из основных инструментов в обширном арсенале статистических методов контроля качества являются контрольные карты. Первоначально контрольные карты использовались для регистрации результатов измерений требуемых свойств продукции. Выход параметра за границы поля допуска свидетельствовал о необходимости остановки производства и проведении корректировки процесса производства. Это давало информацию о том, когда, кто, на каком оборудовании получал брак в прошлом.

Контрольная карта состоит из центральной линии, двух контрольных пределов (над и под центральной линией) и значений характеристики (показателя качества), нанесенных на карту для представления состояния процесса.

В определенные периоды времени отбирают (все подряд; выборочно; периодически из непрерывного потока и т.д.) n изготовленных изделий и измеряют контролируемый параметр. Результаты измерений наносят на контрольную карту и в зависимости от этого значения принимают решение о корректировке процесса или о продолжении процесса без корректировок. Сигналом о возможных сбоях технологического процесса могут служить:

- выход точки за контрольные пределы (процесс вышел из-под контроля);
- расположение группы последовательных точек около одной контрольной границы, но не выход за нее, что свидетельствует о нарушении уровня настройки оборудования;
- сильное рассеяние точек на контрольной карте относительно средней линии, что свидетельствует о снижении точности технологического процесса.

При наличии сигнала о нарушении производственного процесса должна быть выявлена и устранена причина нарушения. Таким образом, контрольные карты используются для выявления определенной причины, но не случайной. Под определенной причиной следует понимать существование факторов, которые допускают изучение. Разумеется, что таких факторов следует избегать. Вариации, обусловленные случайными причинами, необходимы, они встречается в любом процессе, даже если технологическая операция проводится с использованием стандартных методов и

сырья. Исключение случайных причин вариаций невозможно технически или экономически нецелесообразно.

УДК 330.131.5

В.В. Адищев, Е.Е. Сикерина

Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И.Носова

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИЙ В МЕТАЛЛУРГИИ

Экономическая эффективность инноваций определяется путем сопоставления результатов экономической деятельности и затрат, требуемых на достижение этих результатов.

Наиболее очевидными являются абсолютные показатели эффективности. Абсолютная экономическая эффективность – показатель, характеризующий общую величину экономического эффекта в сопоставлении с размером затрат.

Для оценки эффективности инноваций часто рассчитывают экономический эффект. Экономический эффект – это абсолютный показатель, характеризующий рациональное использование некоторой совокупности экономических ресурсов, их суммарную экономию.

Экономический эффект можно получить за счет:

- снижения себестоимости продукции;
- уменьшения удельных капитальных вложений в расчете на единицу новой техники;
- увеличения объемов производства;
- роста производительности (труда) с использованием новых средств труда по сравнению с базовыми;
- роста срока службы новой техники по сравнению с базовой – эффект достигается за счет изменения доли отчислений на полное восстановление основных фондов;
- снижения удельного расхода используемых материалов (материалоемкость);
- изменения годовых эксплуатационных издержек потребителя при использовании новой техники;

- изменения сопряженных затрат при внедрении новой техники, например, на охрану окружающей среды.

- улучшения показателей качества.

Поскольку экономическая эффективность определяется на основе затрат ресурсов (отдельных видов ресурсов или по их совокупности), показатели экономической эффективности принято классифицировать на локальные и интегральные (обобщающие).

Интегральные показатели характеризуют экономическую эффективность использования совокупности ресурсов.

К локальным показателям относятся показатели, применяемые для анализа эффективного использования отдельных видов ресурсов. Классификация локальных ресурсов представлена в табл. 1. В этом случае сопоставляется полезный результат и величина затраченных материальных ресурсов. Важнейшие показатели: материалотдача и материалоемкость.

Таблица 1

Классификация локальных ресурсов

Вид ресурса	Показатель					
	прямой			обратный		
	Наименование	Формула	Измеритель	Наименование	Формула	Измеритель
Трудовые ресурсы	Производительность труда	$РП/Ч$	руб./чел.	Трудоёмкость	$Ч*F/РП$	нормо-часы/шт.
Материальные ресурсы	Материалотдача	$РП/С_m$	руб./кг	Материалоемкость	$С_m/РП$	кг/руб.
Основные фонды	Фондоотдача	$РП/Ф_{oc}$	руб./руб.	Фондоёмкость	$Ф_{oc}/РП$	руб./руб.

Примечание. РП – годовой объем реализованной продукции;

Ч – число рабочих; $С_m$ – коэффициент материалотдачи;

$Ф_{oc}$ – коэффициент фондоотдачи; F – норма выработки.

Экономический эффект относится к локальным показателем эффективности. Определение годового экономического эффекта основывается на сопоставлении приведенных затрат по базовой и новой технике.

Если при применении новых технологических процессов, механизации и автоматизации производства, способов организации производства и труда обеспечивается экономия производственных

ресурсов при выпуске одной и той же продукции, то расчет экономического эффекта производится по формуле

$$\mathcal{E} = (Z_1 - Z_2)A, \quad (1)$$

где \mathcal{E} – годовой экономический эффект, руб.;

Z_1 и Z_2 – приведенные затраты единицы продукции (работы), производимой с помощью базовой и новой техники, руб.;

A – годовой объем производства продукции (работы) с помощью новой техники в расчетном году, в натуральных единицах.

Если для внедрения инноваций требуются капитальные вложения, то можно рассчитывать приведенные затраты, после внедрения новой техники, как сумму себестоимости и нормативной прибыли:

$$Z = C + E_n K, \quad (2)$$

где Z – приведенные затраты единицы продукции (работы), руб.;

C – себестоимость единицы продукции (работы), руб.;

K – удельные капитальные вложения в производственные фонды, руб.;

E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

При определении годового экономического эффекта должна быть обеспечена сопоставимость сравниваемых вариантов новой и базовой техники по: объему производимой с помощью новой техники продукции (работы); качественным параметрам; фактору времени; социальным факторам производства и использования продукции, включая влияние на окружающую среду.

Укрупненный расчет экономического эффекта от повышения производительности труда определяется по формуле (без учета отчислений на социальное страхование)

$$\mathcal{E}_1 = (P_{q2} - P_{q1})L\Phi_q, \quad (3)$$

где \mathcal{E}_1 – экономия за счет повышения производительности труда;

P_{q1} и P_{q2} – часовая производительность труда до и после внедрения технического усовершенствования;

L – расценки за единицу выработанной продукции;

Φ_q – годовой фонд рабочего времени, чел./ч.

Одним из основных показателей при определении экономической эффективности является условно-годовая экономия, т.е. суммы, полученные от снижения производственных затрат на предприятии или другом объекте в результате внедрения новой техники – \mathcal{E}_2 . Она определяется по формуле

$$\mathcal{E}_2 = C_1 - C_2, \quad (4)$$

где C_1 – себестоимость выполняемых работ до внедрения;

C_2 – себестоимость выполняемых работ после внедрения.

При сравнении нескольких вариантов инноваций, применяется метод перебора вариантов и выбора наилучшего по критериям минимальной себестоимости и минимальных капитальных вложений. В этом случае можно сравнить отношение величин прироста капитальных вложений и снижения себестоимости:

$$N = (C_1 - C_2) / (K_2 - K_1), \quad (5)$$

где N – коэффициент, показывающий, во сколько раз разность себестоимостей продукции в двух сравниваемых вариантах больше разности капитальных вложений этих вариантов.

Если внедрение новой техники сопровождается экономией на единовременных и на текущих затратах, то сумма этих двух слагаемых и составит общий экономический эффект за год, т.е.

$$\Xi = (K_1 - K_2) + (C_1 - C_2), \quad (6)$$

где K_1 и K_2 – экономия капиталовложений по варианту;

C_1 и C_2 – экономия по (текущим) эксплуатационным затратам.

Как правило, имеет место сочетание, когда внедрение инноваций сопровождается дополнительными капитальными затратами при экономии на эксплуатационных расходах, т.е.

$$K_1 < K_2 \text{ и } C_2 < C_1.$$

Вопрос об эффективности в этом случае решается по определению срока окупаемости, в течение которого будут возмещены единовременные затраты.

Возможны случаи, когда снижаются затраты по капитальным вложениям, а эксплуатационные расходы остаются неизменными. В равной мере это относится к экономии эксплуатационных затрат при неизменности капитальных вложений

$$K_2 < K_1 \text{ и } C_1 = C_2 \text{ или } K_2 = K_1 \text{ и } C_1 > C_2.$$

Чаще всего оказывается неэффективно или малоэкономично снижение капитальных затрат при увеличении эксплуатационных расходов

$$K_2 < K_1 \text{ и } C_1 < C_2.$$

При этом, чтобы инновации были эффективными, экономия по единовременным затратам должна быть достаточно большой, чтобы в течение ряда лет возместить дополнительные затраты в эксплуатации.

Очевидно, что неэффективным является вариант, когда увеличиваются капитальные затраты и эксплуатационные расходы

$$K_2 > K_1 \text{ и } C_1 < C_2$$

В настоящее время распространена методика оценки экономической эффективности текущей производственной деятельности

предприятия с помощью системы показателей. Наиболее распространенными являются показатели рентабельности:

Рентабельность продукции – отношение (чистой) прибыли к полной себестоимости:

$$ROM = \text{ЧП/Себестоимость} \times 100 \% ; \quad (7)$$

Рентабельность основных средств – отношение (чистой) прибыли к величине основных средств:

$$ROFA = \text{ЧП/Основные средства} \times 100 \% ; \quad (8)$$

Рентабельность продаж (Margin on sales, Return on sales) — прибыли от продаж к выручке:

$$ROS = \text{Прибыль от продаж/Выручка} \times 100 \% ; \quad (9)$$

Рентабельность персонала – отношение (чистой) прибыли к среднесписочной численности персонала:

$$ROL = \text{Чистая прибыль/Среднесписочная численность} \times 100 \% ; \quad (10)$$

Коэффициент базовой прибыльности активов (Basic earning power) – отношение прибыли до уплаты налогов и процентов к получению к суммарной величине активов:

$$BEP = \text{EBIT/Активы} \times 100 \% \quad (11)$$

Рентабельность активов (ROA) – отношение операционной прибыли к среднему за период размеру суммарных активов.

$$ROA = \text{Операционная прибыль/Активы} \times 100 \% \quad (12)$$

Рентабельность собственного капитала (ROE) – отношение чистой прибыли к среднему за период размеру собственного капитала:

$$ROE = \text{Чистая прибыль/Собственный капитал} \times 100 \% ; \quad (13)$$

Рентабельность инвестированного, перманентного капитала (ROIC) – отношение чистой операционной прибыли к среднему за период собственному и долгосрочному заёмному капиталу:

$$ROIC = \text{Чистая прибыль} \times (1 - \text{Ставка налога на прибыль}) / \text{Инвестированный капитал} \times 100 \% . \quad (14)$$

В частном случае, при использовании в качестве инвестированного капитала заемных средств $ROIC = (\text{Чистая прибыль} + \text{сумма \% по заемному капиталу} \times (1 - \text{ставка налога на прибыль})) / (\text{собственный капитал} + \text{заемный капитал}) ; \quad (15)$

ROI (Return of Investment) – рентабельность инвестиций – определяется отношением балансовой прибыли к разности между валютой баланса и краткосрочными заемными средствами:

$$ROI = \text{П}_{\text{бал}} / (\text{В}_{\text{ср}} - \text{К}_{\text{ср.заем.ср-ва}}) ; \quad (16)$$

Рентабельность производственной деятельности – определяется как отношение балансовой прибыли к себестоимости продукции:

$$R_{\text{произ. деят.}} = \Pi_{\text{бал}} / S; \quad (17)$$

Индекс рентабельности инвестиций PI (Profitability Index) – рассчитывается как отношение чистой текущей стоимости денежного притока к чистой текущей стоимости оттока (включая первоначальные инвестиции):

$$PI = \sum (PK / (1+i)^t) / I_0, \quad (18)$$

$$PI = \sum_{t=1}^K Ct (1+i)^{-t} / I_0, \quad (19)$$

где I_0 – инвестиции предприятия в момент времени 0;

C_t – денежный поток предприятия в момент времени t ;

i – ставка дисконтирования;

PK – сальдо накопленного потока.

Несложно заметить, что при оценке проектов, предусматривающих одинаковый объем первоначальных инвестиций, критерий PI полностью согласован с критерием NPV.

Таким образом, критерий PI имеет преимущество при выборе одного проекта из ряда имеющих примерно одинаковые значения NPV, но разные объемы требуемых инвестиций. В данном случае выгоднее тот из них, который обеспечивает большую эффективность вложений. В связи с этим данный показатель позволяет ранжировать проекты при ограниченных инвестиционных ресурсах.

К недостаткам метода можно отнести его неоднозначность при дисконтировании отдельно денежных притоков и оттоков.

$PI > 1$ – проект следует принять; $PI < 1$ – отвергнуть; $PI = 1$ – ни прибыли ни убытков.

Для акционерных обществ часто используется показатель P/E (Price/Earnings ratio) – коэффициент соотношения цены и акций и чистой прибыли.

В абсолютном измерении эффективность производства может характеризоваться NPV (Net Present Value) – чистой текущей прибылью – разностью между доходами за некоторый период времени и затратами, понесенными для получения этих доходов, приведенная к текущей стоимости базового периода.

$$NPV = PV - I; \quad (20)$$

MVA (Market Value Added) – рыночная добавленная стоимость – это показатель, который отражает величину превышения рыночной капитализации компании (рыночной цены ее акции, умноженной на число акций, выпущенных в обращение) над стоимостью ее чистых активов, показанных в бухгалтерском балансе:

MVA = Рыночная капитализация компании — Стоимость чистых активов (собственного капитала) по балансу компании; (21)

EVA (Economic Value Added) – экономическая добавленная стоимость – представляет собой прибыль предприятия от обычной деятельности за вычетом налогов, уменьшенная на величину платы за весь инвестированный в предприятие капитал:

EVA= прибыль от обычной деятельности - налоги и другие обязательные платежи - инвестированный в предприятие капитал (т.е. сумма пассива баланса)×средневзвешенная цена капитала; (22)

Общепринятым в мировой практике в настоящее время является метод UNIDO - методика подготовки технико-экономических исследований для инвестиционного проектирования, которая состоит из финансовой и экономической оценки.

Таблица 2

Оценка коммерческой эффективности инвестиций

Финансовая оценка инвестиционного проекта				Экономическая оценка инвестиционного проекта				
Отчет о себестоимости	Отчет о прибылях и убытках	Отчет движения денежных средств	Отчет балансовой стоимости	Индекс рентабельности инвестиций (PI)	Внутренняя норма доходности (IRR)	Период окупаемости (PP)	Чистая текущая стоимость (NPV)	Точка безубыточности (BEP)

Точка безубыточности — минимальный объем производства и реализации продукции, при котором расходы будут компенсированы доходами.

Внутренняя норма доходности (англ. *internal rate of return*, общепринятое сокращение – **IRR (ВНД)**) – это процентная ставка, при которой чистый дисконтированный доход (NPV) равен 0. NPV рассчитывается на основании потока платежей, дисконтированного к сегодняшнему дню. Иначе говоря, для потока платежей **CF**, где CF_t — платёж через t лет ($t = 1, \dots, M$) и начальной инвестиции в размере $IC = -CF_0$ внутренняя норма доходности **IRR** рассчитывается из уравнения:

$$NPV = -IC + \sum_{t=1}^N CF_t / (1 + IRR)^t = 0 \quad (23)$$

или

$$IC = \sum_{t=1}^N CF_t / (1 + IRR)^t. \quad (24)$$

Срок окупаемости (англ. *Pay-Back Period*) – период времени, необходимый для того, чтобы доходы, генерируемые инвестициями, покрыли затраты на инвестиции.

В самом общем виде эффективность инвестиций может быть оценена как стоимость бизнеса или добавленная стоимость бизнеса. Стоимость бизнеса может быть оценена затратным и доходным подходами. Основы доходного подхода (метод дисконтирования денежных потоков) описаны выше. Затратный подход может быть реализован через метод чистых активов.

В соответствии с методом чистых активов статьи бухгалтерского баланса приводятся к рыночной стоимости. Для этого:

- проводится оценка рыночной стоимости каждого актива баланса в отдельности;
- затем определяется текущая стоимость обязательств;
- из обоснованной рыночной стоимости суммы активов предприятия вычитается текущая стоимость всех его обязательств.

Результат показывает оценочную стоимость собственного капитала предприятия.

Оценка эффективности бизнеса (инноваций) проводится путем сопоставления полученных результатов.

Если стоимость бизнеса, рассчитанная методом дисконтирования денежных потоков, оказывается ниже стоимости, рассчитанной методом чистых активов, то это свидетельствует об экономическом устаревании бизнеса.

Библиографический список

1. Хачатуров Т.С. Экономическая эффективность капитальных вложений. М: 1964. 252 с.
2. Баканов М.И., Шеремет А.Д. Теория экономического анализа: учебник. М., 2001. 412 с.
3. Методика определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. М., 1961. 50 с.

4. Интернет-ресурсы: <http://docs.kodeks.ru/document/600208>.
УДК 621.74

А.В. Богачев, А.С. Горюхин

Уфимский государственный авиационный
технический университет, Башкортостан

ПРИМЕНЕНИЕ CALS ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ВНЕДРЕНИИ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

В рыночной экономике огромное внимание уделяется проблемам качества. Это обусловлено наличием конкурентной среды. Только качество может привлечь потребителя и сделать продукцию конкурентоспособной. Поэтому повышение качества выпускаемой продукции – одна из главных задач любого современного предприятия.

Для достижения целей постоянного повышения качества выпускаемой продукции и услуг служит система менеджмента качества (СМК) предприятия.

В соответствии с международными стандартами ISO серии 9000 функционирование системы управления качеством является важнейшим направлением деятельности предприятия и базируется на информационной системе, поддерживающей автоматизированную обработку данных и документированных процессов обеспечения качества на всех этапах жизненного цикла продукции, автоматизированное управление процессами, данными и документацией.

Адаптация данных стандартов принята в России как государственный стандарт, получила название ГОСТ Р ИСО 9000. Наличие сертифицированной системы качества гарантирует способность предприятия стабильно выпускать продукцию требуемого качества и является доказательством его конкурентоспособности.

Для наибольшей эффективности и отдачи внедряемой информационной системы необходимо использовать современные CALS-технологии. По своей сути CALS является глобальной стратегией повышения эффективности бизнес-процессов, выполняемых в ходе жизненного цикла продукции за счет информационной интеграции (обмена информацией) и преемственности информации, порождаемой на всех этапах жизненного цикла. Применение CALS-технологий позволяет обеспечивать повышение эффективности

производства за счет выбора оптимального комплекса технологических процессов, используя моделирование материальных, информационных и финансовых потоков, с целью обеспечения достижения заданных технико-экономических параметров продукции.

Разработка информационной системы начинается с анализа деятельности предприятия и выявления основных процессов, влияющих на качество получения продукции и установление связи между ними – составления функциональной модели «как есть». Для этого осуществляется сбор и анализ документов, стандартов предприятия по качеству, методических инструкций, технологических карт выполнения операций и т.д.

Вторым этапом является построение функциональной модели «как должно быть». Процесс построения данной модели значительно отличается от моделирования существующей системы и во многом носит творческий характер. Данная модель должна строиться на основе системного и процессного подходов, с выделением наиболее значимых для СМК процессов. Принципы процессного подхода позволят в дальнейшем реализовать «правильную» стратегию управления качеством и эффективностью функционирования предприятия (рис. 1).

Эффективным инструментом для решения этих задач выступают семейство стандартов IDEF и комплекс программных средств, позволяющих это делать в автоматизированном режиме. В частности, для построения модели деятельности предприятия используется стандарт функционального моделирования IDEF0.

Важнейшей задачей при разработке систем управления качеством в литейном производстве является установление взаимосвязей между контролируемыми показателями качества отливки и производственными факторами. Для этого необходимо создать локальную сеть, в которую будет вписана система менеджмента качества получения отливок, позволяющая фиксировать и записывать все параметры процессов, влияющие на качество получения отливки. Обязательным является накопление информации в виде баз данных, ее хранение и обработка, позволяющих управлять процессом получения качественной отливки.

На основе функциональной модели «как должно быть» необходимо создать информационную модель. Данная модель строится с использованием стандарта IDEF1X и содержит логическую модель будущей базы данных предприятия. Использование CASE средств, являющихся частью CALS-технологий, позволяет сгенерировать основную часть логической модели автоматически.

Далее следует построение физической модели базы данных с определением СУБД, заданием атрибутов, их свойств и первичных ключей.

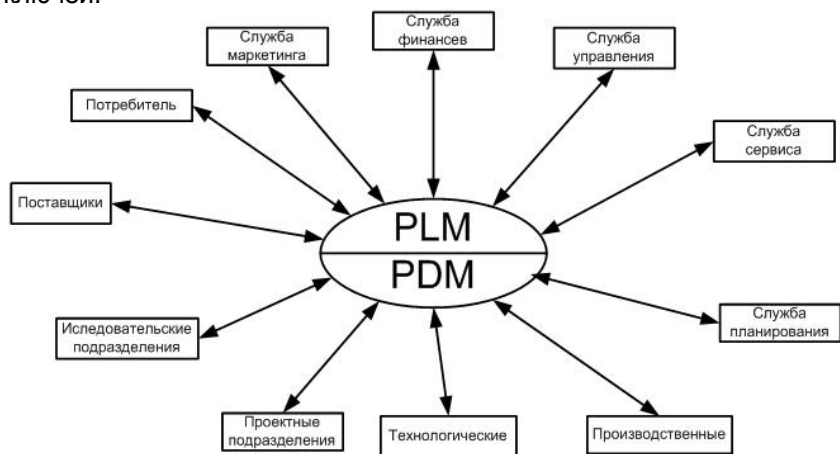


Рис. 1. Структура PLM системы

База данных станет в дальнейшем ядром информационной системы контроля и позволит вводить, хранить и обрабатывать информацию о качестве на всех этапах производственного цикла, контроля, получения отчетов по результатам лабораторных испытаний отдельных образцов и партий.

В процессе внедрения и эксплуатации СМК базы данных предприятия должны дорабатываться и совершенствоваться.

Применение средств анализа имеющихся данных, в том числе по браку, позволит быстро и эффективно реагировать на отклонения в производстве, их устранение и предотвращение появления. Следует отметить, что для получения высокого качества получаемой продукции, только накопления данных недостаточно. Их необходимо проанализировать и сделать правильные выводы.

Полученная база данных становится частью системы управления данными об изделии - информационная технология, целью которой является создание, поддержание в актуальном состоянии и использование организованной совокупности данных, составляющих электронное описание изделия на всех этапах его жизненного цикла. Такое управление БД обеспечивает PLM-система (Product Lifecycle Management) - интегрированные решения по

управлению данными о продукции на протяжении всего жизненного цикла (см. рис.1).

Помимо PLM-системы CALS базируется на локальных системах CAD/CAM/CAE и других, необходимых при разработке, производстве и эксплуатации сложной наукоемкой техники, которая требует создания, преобразования, передачи между различными участниками жизненного цикла изделий (ЖЦИ) больших объемов технической информации. Такие системы позволяют моделировать литейные и другие процессы производства продукции. Полученные модели можно использовать для определения возможных «узких мест» используемой технологии и для определения эффективности принимаемых решений по предупреждающим действиям или другим изменениям технологии.

Основную часть системы качества предприятия занимает документация и записи. Деятельность любого сотрудника предприятия практически полностью регламентируется положениями, инструкциями, приказами, правилами, стандартами, методиками и другими нормативными документами. Все указанные документы призваны обеспечить корректное взаимодействие каждого сотрудника с коллективом, оборудованием, окружающей средой (потребителями, поставщиками и иными заинтересованными сторонами).

Комплект обязательной документации СМК включает документацию в соответствии с требованиями подраздела 4.2 ГОСТ Р ИСО 9001-2008 (рис.2). Наличие модуля или системы управления электронной документацией обязательно в информационной системе качества предприятия (например, Knowledge Tree, Alfresco и т.д.). Наличие такой системы необходимо для успешного прохождения сертификации.



Рис. 2. Состав документации СМК

Можно выделить следующие принципы автоматизированного, электронного документооборота:

— однократная регистрация документа, позволяющая однозначно идентифицировать документ в любой инсталляции данной системы;

— возможность параллельного выполнения операций, позволяющая сократить время движения документов и повышения оперативности их исполнения;

— непрерывность движения документа, позволяющая идентифицировать ответственного за исполнение документа (задачи) в каждый момент времени жизни документа (процесса);

— единая (или согласованная распределённая) база документной информации, позволяющая исключить возможность дублирования документов;

— эффективно организованная система поиска документа, позволяющая находить документ, обладая минимальной информацией о нём;

— развитая система отчётности по различным статусам и атрибутам документов, позволяющая контролировать движение документов по процессам документооборота и принимать управленческие решения, основываясь на данных из отчётов.

Рассмотрим применение CALS-технологий на примере внедрения СМК в центр прототипирования (ЦП) кафедры МиТЛП УГАТУ. На рис. 3 представлена часть функциональной модели деятельности ЦП – декомпозиция контекстной диаграммы, выполненной в программе CA Erwin Process Modeler. На основе анализа функциональной модели была составлена информационная модель баз данных, часть которой представлена на рис. 4. Полученная модель импортирована в формат SQL, понимаемый большинством систем управления базами данных (СУБД). СУБД позволяют редактировать полученную структуру БД, вводить производственные данные и обладают большими возможностями по автоматизированной обработке и анализу введенных данных по качеству.

По результатам анализа различных систем электронного документооборота была выбрана система «Alfresco», обладающая необходимым функционалом, для малого предприятия с небольшим документооборотом, и при этом относящаяся к категории «open source» систем.

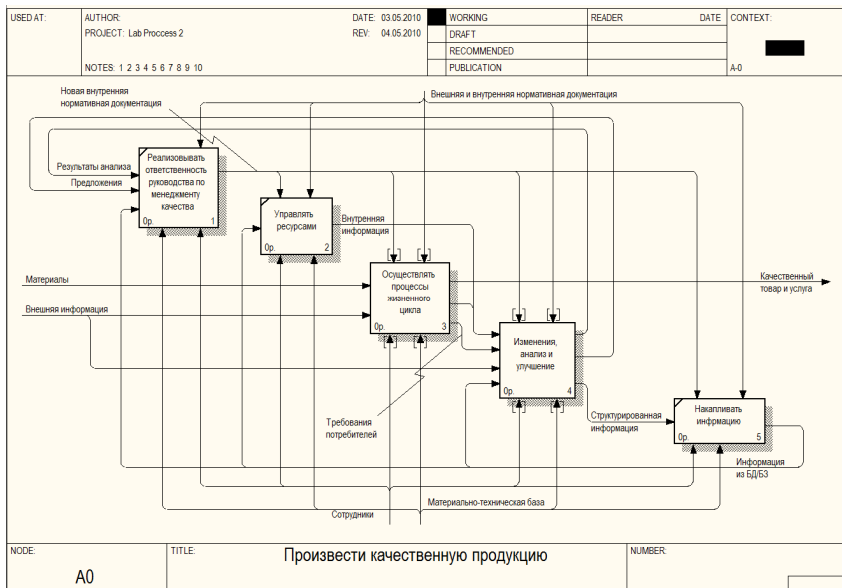


Рис. 3. Пример декомпозиции контекстной модели, выполненной в соответствии со стандартом IDEF0 в программе ERWin Process Modeler

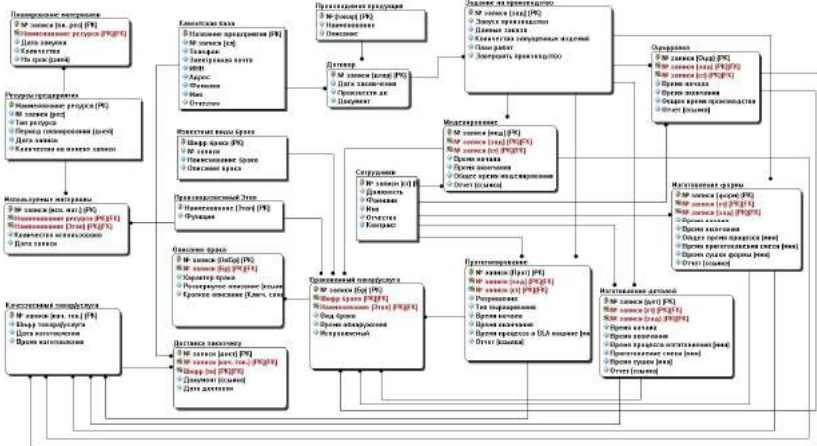


Рис. 4. Часть информационной модели базы данных

Все требуемые аспекты деятельности ЦП УГАТУ и соответствие их стандартам ГОСТ Р ИСО 9000 были задокументированы в основном документе по качеству ЦП – «Руководству по качеству».

Таким образом, применение CALS-технологий обеспечивает оптимизацию значений тактико-технических характеристик, стоимости изделий, затрат на сопровождение изделий в ходе жизненного цикла для повышения конкурентоспособности и высокого качества; снижение ресурсоемкости изделий и реализуется в соответствии с требованиями международных и национальных стандартов.

Известны некоторые оценки эффективности CALS в промышленности США:

- сокращение затрат на проектирование на 10–30%;
- сокращение затрат на подготовку технической документации до 40%;
- сокращение затрат на разработку эксплуатационной документации до 30%;
- сокращение времени разработки изделий на 40–60%.

Конкретные факторы, непосредственно влияющие на экономические показатели при использовании CALS:

- сокращение затрат и трудоемкости технологической подготовки производства и освоения производства новых изделий в опытном, серийном и ремонтном производствах;
- сокращение затрат, связанных с внесением конструкторско-технологических решений;
- сокращение затрат на эксплуатацию, техническое обслуживание, ремонт, модернизацию изделий;
- снижение объема расходов материальных, трудовых, финансовых ресурсов на всех этапах ЖЦИ.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

А		Е	
Авдиенко А.В.	29	Ердаков И.Н.	54, 67
Адищев В.В.	249		
Ачкасова Е.В.	124	З	
		Знаменский Л.Г.	99
Б		Зотов М.В.	152
Байбатыров Р.М.	194	И	
Баранцев А.С.	39	Иванов Д.М.	29
Барышев Е.Е.	42, 58	Иванов М.А.	146
Безносков Д.В.	132	Иванова И.В.	64
Беккель Д.В.	155	Ивочкина О.В.	99
Белогрудов А.Н.	86	Иоффе М.А.	11, 39
Бердников А.А.	132	К	
Березова С.В.	140	Казаков А.С.	166, 171
Близников М.А.	11	Кильмухаметов Ф.Ф.	183
Богачев А.В.	257	Колесников Ю.А.	71
Брылкин Е.А.	120	Колокольцев В.М.	208
Буданов Б.А.	71	Колотухин Э.В.	42
Бутыгин В.Б.	50	Кольга М.А.	214
		Костина Т.К.	58
В		Кулаков Б.А.	146
Вандышева И.В.	58	Л	
Варламов А.С.	99	Лазарев В.В.	183
Васильева Р.Н.	177	Левшин Г.Е.	112
Вдовин К.Н.	4, 214	Леушин И.О.	152
Верцюх С.С.	99	Леушина Л.И.	129
		Лисичкин Д.В.	29
Г		Лозовский Е.П.	200
Гайнцева Е.С.	186	Луганский А.Ю.	91, 107
Ганеев А.А.	19, 34	М	
Горюхин А.С.	86, 186, 257	Марков В.А.	91, 107
Григор А.С.	91, 107	Марширов И.В.	26
Гулаков А.А.	64	Мильяев А.Ф.	29
		Михайлова С.З.	230
Д		Молочков П.А.	78, 140
Демидов А.С.	50	Москалев В.Г.	26
Долгополов А.М.	64	Мустафин Г.А.	26, 155
Долгополова Л.Б.	78		
Дьяченко Д.Я.	102		
Дюльдина Э.В.	200		

Н		Т	
Нищенков А.В.	129	Татарина А.Ю.	220
Новокрещенов В.В.	54, 67	Твердохлеб И.А.	155
Носов Е.В.	194	Тимиргалеева Л.Ш.	223
О		Тихомиров А.В.	39
Осипова О.А.	102	Тубольцева А.С.	102, 124, 194
П		Тухватулин И.Х.	64
Павлов С.П.	64	Тягунов А.Г.	42
Паршин В.Г.	124	Тягунов Г.В.	42, 58
Потапов М.Г.	78, 140	Ф	
Р		Феоктистов Н.А.	4
Радуль М.А.	223	Фирстов А.П.	220
Решетникова С.В.	124	Ч	
С		Чёлушкин А.С.	177
Савинкина О.В.	102	Чернов В.П.	120, 161
Савинов А.С.	102, 124, 194	Чудинова Ю.А.	71
Сазонов С.Н.	183	Ш	
Сафонова Е.А.	161	Шайхутдинова Е.Ф.	19, 183
Сикерина Е.Е.	249	Шакирова А.К.	223
Синицкий Е.В.	236, 241, 245	Шевченко А.В.	208
Степанова А.Е.	29	Шлыгин Е.Н.	34
Столяров А.М.	166, 171		
Сулейманов М.Г.	223		
Сусенков А.Г.	86		

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 1 ЛИТЕЙНЫЕ СПЛАВЫ

К.Н. Вдовин, Н.А. Феоктистов Стойкость шлаковых чаш в условиях ОАО «ММК».....	4
М.А. Иоффе, М.А. Близников Методология расчета допустимых интервалов содержания компонентов в литейных системах	11
А.А. Ганеев, Е.Ф. Шайхутдинова Исследование эксплуатационных свойств разработанного никелевого стоматологического сплава	19
И.В. Марширов, Г.А. Мустафин, В.Г. Москалев Особенности получения высокопрочного чугуна с шаровидным графитом с использованием железо-никель-магний-цериевой лигатуры	26
А.Ф. Миляев, А.Е. Степанова, Д.В. Лисичкин, А.В. Авдиенко, Д.М. Иванов Рациональное содержание углерода в металле по расплавлению в ДСП-25	29
Е.Н. Шлыгин, А.А. Ганеев Методика синтеза композиционных материалов для бурового инструмента	34
А.С. Баранцев, М.А. Иоффе, А.В. Тихомиров Изготовление отливок из титановых сплавов с использованием отходов	39

Раздел 2 ПРОЦЕССЫ ПЛАВКИ И ОБРАБОТКИ ЖИДКИХ СПЛАВОВ

Е.Е. Барышев, А.Г. Тягунов, Г.В. Тягунов, Э.В. Колотухин Влияние обработки расплава на процесс кристаллизации и структуру литейного жаропрочного сплава	42
--	----

В.Б. Бутыгин, А.С. Демидов Влияние легирования на свойства штамповых сплавов высокой теплостойкости	50
И.Н. Ермаков, В.В. Новокрещенов Влияние импульсного электрического воздействия на кристаллизацию силумина (АК7С) и стали (20ГЛ)	54
Т.К. Костина, И.В. Вандышева, Е.Е. Барышев, Г.В. Тягунов Подготовка расплава доэвтектического силумина к кристаллизации как фактор формирования литой структуры	58
С.П. Павлов, А.А. Гулаков, И.Х. Тухватулин, А.М. Долгополов, И.В. Иванова Усовершенствование технологии модифицирования сплава	64
И.Н. Ермаков, В.В. Новокрещенов Применение генератора наносекундных электромагнитных импульсов в технологическом процессе изготовления отливок	67
Б.А. Буданов, Ю.А. Колесников, Ю.А. Чудинова Особенности имитационного моделирования агрегата доводки стали	71
М.Г. Потапов, П.А. Молочков, Л.Б. Долгополова Разработка новых сплавов для литого инструмента	78
А.Г. Сусенков, А.Н. Белогрудов, А.С. Горюхин Математическая модель корректировки сплава и его параметров	86

Раздел 3 ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ

А.С. Григор, В.А. Марков, А.Ю. Луганский Формовочная смесь на основе речного песка для получения отливок из чугуна	91
О.В. Ивочкина, Л.Г. Знаменский, А.С. Варламов, С.С. Верцюх Прогрессивная технология формообразования для художественного литья по выплавляемым моделям	99

-
- А.С. Савинов, А.С. Тубольцева, О.А. Осипова,
Д.Я. Дьяченко, О.В. Савинкина**
Применение разностных схем расчета
температурного поля сырой песчано-глинистой формы 102
- В.А. Марков, А.С. Григор, А.Ю. Луганский**
Исследование активности бентонита с добавками
нанодисперсного пироуглерода кондуктометрическим способом 107
- Г.Е. Левшин**
О приготовлении водных песчано-глинистых смесей
из свежих материалов 112
- В.П. Чернов, Е.А. Брылкин**
Отработка технологии получения насадка гидроциклона 120
- А.С. Савинов, А.С. Тубольцева, В.Г. Паршин,
С.В. Решетникова, Е.В. Ачкасова**
Учет теплоты парообразования в расчете теплового поля
сырой песчано-глинистой формы..... 124

Раздел 4 МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМООБРАБОТКА СПЛАВОВ И ОТЛИВОК

- А.В. Нищенков, Л.И. Леушина**
Применение отработанных модельных композиций
при проведении нормализации стальных отливок
ответственного назначения 129
- А.А. Бердников, Д.В. Безносков**
Практическое применение плазменной закалки
для упрочнения прокатных валков 132
- П.А. Молочков, М.Г. Потапов, С.В. Березова**
Влияние термической обработки на свойства и структуру
износостойкого чугуна марки ИЧ300Х16Ф8..... 140

Раздел 5 СПЕЦИАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ЛИТЬЯ

- М.А. Иванов, Б.А. Кулаков**
К вопросу литья свинцово-серебряных анодов
для производства цинка 146

И.О. Леушин, М.В. Зотов

Перспективы использования отработанных
модельных композиций в литье под давлением..... 152

Г.А. Мустафин, Д.В. Беккель, И.А. Твердохлеб

Газопроницаемость покрытий выжигаемых моделей..... 155

В.П. Чернов, Е.А. Сафонова

Исследование термической стойкости оболочковых форм
для литья по выплавляемым моделям 161

А.С. Казаков, А.М. Столяров

Исходные данные для расчета тепловых потерь
непрерывно-литого сляба вследствие внутреннего
охлаждения роликов МНЛЗ 166

А.С. Казаков, А.М. Столяров

Методика определения тепловых потерь непрерывно-литого
сляба вследствие внутреннего охлаждения роликов МНЛЗ 171

А.С. Чёлушкин, Р.Н. Васильева

Математическая модель процесса направленной кристаллизации
с учетом кластерной модели жидких расплавов..... 177

Ф.Ф. Кильмухаметов, В.В. Лазарев,**С.Н. Сазонов, Е.Ф. Шайхутдинова**

Вопросы применения технологии литья в магнитное поле 183

Раздел 6**САПР И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ****Е.С. Гайнцева, А.С. Горюхин**

Особенности применения CALS-технологии
в литейном производстве 186

А.С. Савинов, А.С. Тубольцева, Р.М. Байбатыров, Е.В. Носов

Моделирование граничных условий при постановке задачи
о силовом взаимодействии литой детали с формой 194

Э.В. Дюльдина, Е.П. Лозовский

Молекулярно-динамическое моделирование расплавов
шлакообразующей смеси МНЛЗ..... 200

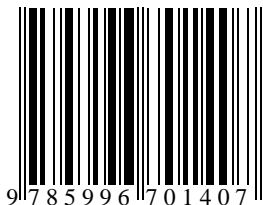
Раздел 7
ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ, ПСИХОЛОГИИ,
ЭКОНОМИКИ И КАЧЕСТВА В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В.М. Колокольцев, А.В. Шевченко Модифицирование расплава белого чугуна боридом титана	208
К.Н. Вдовин, М.А. Кольга Подготовка поверхности круглого проката под покрытие и контроль качества очистки.....	214
А.П. Фирстов, А.Ю. Татарина Применение жидкостекольного связующего для утилизации мелких древесных отходов	220
М.А. Радуль, М.Г. Сулейманов, Л.Ш. Тимиргалиева, А.К. Шакирова Оценка совместимости технологических процессов сложных металлургических комплексов на основе анализа промышленных рисков	223
С.З. Михайлова Использование инновационных технологий в процессе преподавания психолого-педагогических дисциплин	230
Е.В. Сеницкий Комплексные критерии оценки качества отливок (количественный метод)	236
Е.В. Сеницкий Кристаллизация литейных сплавов как фактор, определяющий качественность продукции.....	241
Е.В. Сеницкий Статистические методы оценки и управления качеством в литейном производстве	245
В.В. Адищев, Е.Е. Сикерина Оценка экономической эффективности инноваций в металлургии	249
А.В. Богачев, А.С. Горюхин Применение CALS-технологий при внедрении и использовании системы менеджмента качества	257
Именной указатель	264

Св.темплан 2010, поз.162

Заявки на книгу присылать по адресу:
455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38,
ГОУ ВПО «МГТУ», кафедра ЭМ и ЛП
Тел.: (3519) 29-85-30; факс: 29-84-26

ISBN 978-5-9967-0140-7



ЛИТЕЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Выпуск 9

Межрегиональный сборник научных трудов

Под редакцией В.М.Колокольцева

Редактор Н.В.Кутекина

Оператор компьютерной верстки Е.А.Назарова

Подписано в печать 30.08.10. Формат 60x84 1/16.

Плоская печать. Усл.печ.л.17,0. Уч.-изд.л.17,85.

Заказ 608.

Бумага тип.№ 1.

Тираж 100 экз.



Издательский центр ГОУ ВПО «МГТУ»
455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Полиграфический участок ГОУ ВПО «МГТУ»