

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И.Носова

# **ЛИТЕЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ**

Выпуск 12

Межрегиональный сборник научных трудов

Под редакцией В.М. Колокольцева

Магнитогорск  
2013

Редакционная коллегия:

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

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

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

**А.Н. Емелюшин** – проф., д-р техн. наук (ФГБОУ ВПО «МГТУ»);

**Б.А. Кулаков** – проф., д-р техн. наук (ФГБОУ ВПО «ЮрГУ»);

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

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

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

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

**Литейные процессы:** межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М.Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. Вып. 12. 302 с.  
ISBN 978-5-9967-0432-3

В сборнике представлены результаты теоретических, экспериментальных и промышленных научно-исследовательских работ специалистов в области литейного производства.

ISBN 978-5-9967-0432-3

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

---

---

**ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО**  
**ГЛАВНОГО НАУЧНОГО РЕДАКТОРА**

*Вниманию научной общественности представлен двенадцатый выпуск межрегионального сборника научных трудов «Литейные процессы», в котором представлены результаты научных исследований ученых, аспирантов, студентов различных вузов и предприятий страны.*

*В сборнике рассмотрены вопросы получения чугуна, стали, цветных металлов, большое внимание уделено рафинированию, легированию, модифицированию, оптимизации составов сплавов.*

*Материалы статей посвящены актуальным проблемам металлургического производства и перспективам его развития.*

*Ректор МГТУ им. Г.И. Носова*

**Колокольцев В.М.**

---

---

## Раздел 1

### ПРОЦЕССЫ ПЛАВКИ И ОБРАБОТКИ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ

УДК 621.74:669.14.018.253

**В.М. Колокольцев, С.В. Березова, П.В. Кошечев**

Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА НА ТЕПЛОСТОЙКИЕ СВОЙСТВА ЛИТЕЙНОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ**

Высокие механические свойства инструмента и его теплоустойчивость достигаются специальным легированием и термической обработкой. При заданном химическом составе повышение эксплуатационной стойкости инструмента можно достичь путем воздействия на расплав стали перед заливкой в формы.

В настоящей работе были проведены исследования по влиянию режимов высокотемпературной обработки расплава стали 4Х5В2ФСЛ на ее теплоустойчивость. Характерной особенностью данной стали является комплексное легирование. Высокий уровень легирования благоприятно влияет на прочность, прокаливаемость, теплоустойчивость стали и дает возможность использовать ее для инструментов, разогревающихся в процессе работы до 600°C.

Теплоустойчивые стали сохраняют высокую твердость до температур порядка 600–650°C для быстрорежущих сталей (твердость 60–62 HRC) и 650–700°C для штамповых сталей (твердость 45–52 HRC). Основная карбидная фаза – карбид вольфрама (молибдена)  $Me_6C$ , а у менее теплоустойчивых штамповых сталей также и карбид  $Me_{23}C_6$ . У некоторых сталей возможно интерметаллидное упрочнение.

Штамповые стали для изготовления ножей и пил горячей резки должны сохранять свои свойства в условиях повышенного износа при нагреве и значительных динамических нагрузках.

Жаростойкость оценивали по двум показателям: окалиностойкость и ростоустойчивость.

Окалиностойкость оценивали по ГОСТ 6130-70 весовым методом по увеличению массы образца после выдержки образцов в

печи в течение заданного времени (100 ч) при постоянной температуре (800°C).

Ростоустойчивость оценивали по ГОСТ 7769-82 на образцах длиной 100–150 мм и диаметром 20–25 мм по изменению длины (%) за 150 ч испытания при постоянной температуре (800°C).

Полученные свойства литых образцов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Свойства стали марки 4Х5В2ФСЛ  
после термовременной обработки ее расплава

Температура выдержки, °С	Время выдержки, мин	Окалиностойкость, г	Ростоустойчивость, %
		/м·ч	
ПГФ/кокиль			
1600	5	0,00154/0,00148	0,478/0,461
	10	0,00088/0,00084	0,183/0,182
	15	0,00081/0,00097	0,893/0,721
1650	5	0,00314/0,00212	0,183/0,461
	10	0,0019/0,00247	0,488/0,457
	15	0,00282/0,00371	0,359/0,270
1700	5	0,00233/0,00241	0,181/0,179
	10	0,00275/0,00136	0,457/0,465
	15	0,0038/0,0015	0,448/0,446

Анализ полученных результатов показал, что с увеличением температуры выдержки наблюдается ухудшение свойств стали. Наиболее высокие свойства у стали, выдерживаемой при температуре 1600°C. При этом тенденция уменьшения свойств сохраняется не только с увеличением температуры, но и времени выдержки. Это связано с сокращением числа образующихся карбидов, как следствие, матрица оголяется и более интенсивно взаимодействует с кислородом. В нашем случае наблюдается четкая тенденция уменьшения числа карбидов и их укрупнения (рис. 1–3), а также появляется более крупногочечатая структура по мере увеличения температуры (от 1600–1700°C) и времени выдержки (от 5–15 мин).

Также возможно влияние таких химических элементов, как молибден и вольфрам в составе данной стали. Молибден образует летучий оксид  $\text{MoO}_3$  интенсивно разрыхляющий окалину и снижающий ее защитные свойства. Вольфрам влияет на окисление стали аналогично молибдену: способствует образованию пористой, рыхлой окалины.

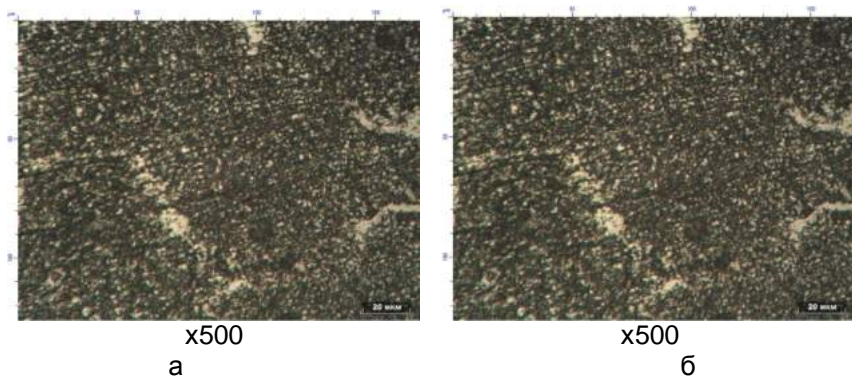


Рис. 1. Структура экспериментальных образцов, полученных при  $t_{\text{выд}}=1600^\circ\text{C}$  и выдержке 10 мин:  
а – залитых в ПГФ сухую; б – залитых в кокиль

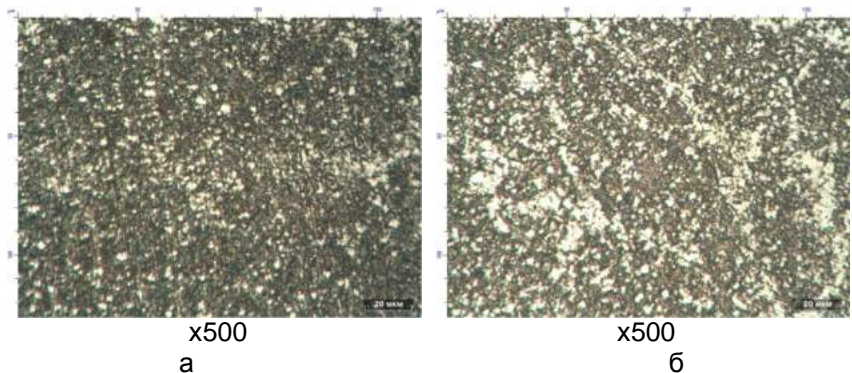


Рис. 2. Структура экспериментальных образцов, полученных при  $t_{\text{выд}}=1650^\circ\text{C}$  и выдержке 10 мин:  
а – залитых в ПГФ сухую; б – залитых в кокиль

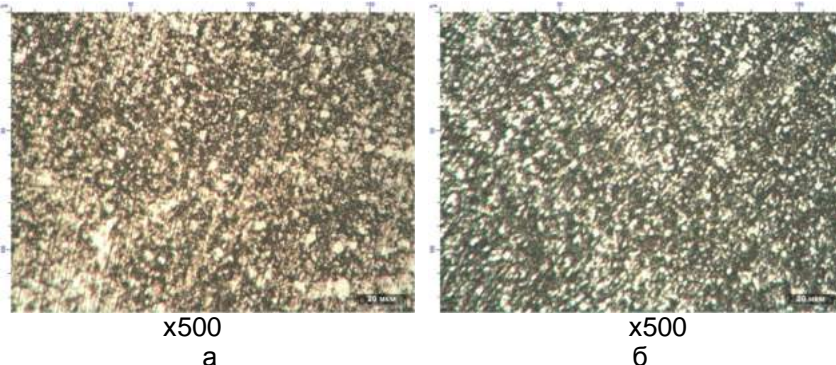


Рис. 3. Структура экспериментальных образцов, полученных при  $t_{\text{выд}}=1700^{\circ}\text{C}$  и выдержке 10 мин:  
а – залитых в ПГФ сухую; б – залитых в кокиль

Таблица 2  
Балл зерна стали 4X5B2ФСЛ после проведенных испытаний

Температура выдержки $t$ , $^{\circ}\text{C}$	Время выдержки, мин	Тип литейной формы	
		Сухая ПГФ	Кокиль
		Балл зерна	
		до испытаний на ростоустойчивость/ после испытаний на ростоустойчивость	до испытаний на ростоустойчивость/ после испытаний на ростоустойчивость
1600	5	7/5	7/6
	10	6/4	7/6,5
	15	6/4	6/5,5
1650	5	8/5	7/6
	10	8/5	7/6,5
	15	7/5	7/7
1700	5	6/6	6/7
	10	6/5,5	6/6
	15	7/7	6/6,5

Таким образом, при получении отливок из стали 4X5B2ФСЛ рекомендуется выдерживать расплав при температуре  $1600^{\circ}\text{C}$  не более 10 мин (табл. 2).

Проведенные испытания позволили выявить рациональные режимы термовременной обработки, которые позволяют получить

---

---

комплекс свойств, обеспечивающих не только получение заданных свойств инструмента, но и дающих определенный экономический эффект за счет снижения производственных затрат.

УДК 621.74.019:622.73-1

**К.Н. Вдовин, Н.А. Феоктистов**

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

**Ш.М. Хабибуллин**

Хайбуллинская обогатительная фабрика

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛИТЫХ БРОНЕЙ ИЗ СТАЛИ МАРКИ 110Г13Л В МЕЛЬНИЦЕ МПСИ – 70x23**

В связи с развитием новых технологий происходит увеличение темпов добычи полезных ископаемых, что, в свою очередь, требует строительства новых или поиска решений по увеличению производительности и минимизации простоев основного технологического оборудования на перерабатывающих предприятиях.

Хайбуллинская обогатительная фабрика ООО «Башкирская медь» введена в эксплуатацию с декабря 2010 г. С целью повышения эффективности использования инвестиций, сокращения сроков окупаемости проекта и с учетом обеспеченности рудой строительство фабрики запланировано в две очереди. Проектная мощность первой очереди фабрики составляет 1,5 млн т руды в год с дальнейшим строительством и увеличением производительности до 3 млн т руды в год.

Измельчают преимущественно медную руду Юбилейного месторождения со следующими основными характеристиками: твердость – 1,0–6,4 (по шкале Мооса); прочность на одноосное сжатие – 110–950 кг/см<sup>2</sup>, плотность 4,3–4,8 г/см<sup>3</sup>.

На первой стадии измельчения установлена мельница МПСИ-70x23, изготовленная на Ново-Краматорском машиностроительном заводе.

Диаметр барабана мельницы составляет 7,0 м, общая длина 2,3 м. На торцевой стенке со стороны загрузочной цапфы по радиусу расположены три ряда футеровки, каждый из них состоит из 10, 20 и 40 шт. футеровок (рис. 1). По внутренней поверхности цилиндрической образующей барабана установлены 40 рядов бро-



ней, по 2 штуки в каждом. К торцевой разгрузочной стенке крепится ряд из двадцати элеваторов, закрывающийся двадцатью решетками, ближе к центру размещен ряд коробов.

Основным фактором, определяющим количество и продолжительность останки фабрики, является процесс замены футеровки на мельнице.

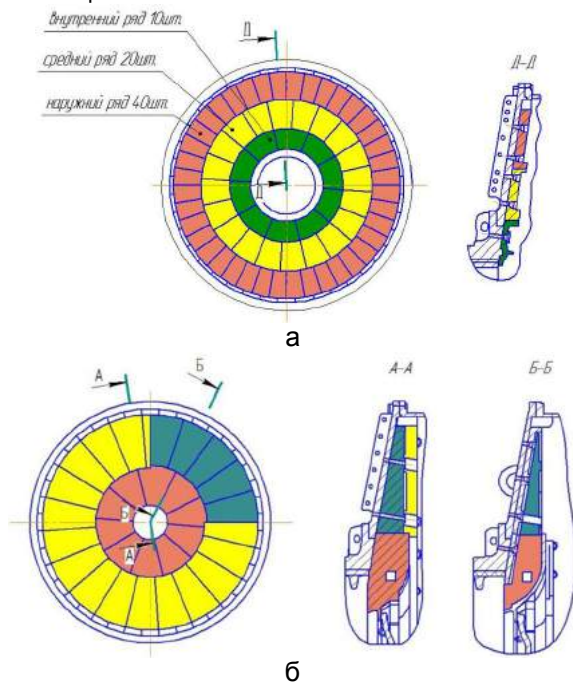


Рис. 1. Расположение брони на загрузочной (а) и разгрузочной (б) стенках барабана

В течение первого года эксплуатации мельницы МПСИ – 70x23 на ней были установлены и опробованы футеровки различных поставщиков. Во время эксплуатации броней производились промежуточные замеры, осмотры и сбор статистических данных, определяющих скорость истирания рабочих поверхностей, характер износа, для планирования последующей даты перефутеровки с учетом объемов перерабатываемой руды и ее механических свойств. Замена футеровки в мельнице проводилась по достигнутому износу на основании проведенных фактических замеров.

Ежемесячно для замены того или иного вида брони требуется выполнять обязательные повторяющиеся подготовительные

действия (выработка мельницы, демонтаж люка барабанных броней и т.д.), увеличивающие простой оборудования.

На основании анализа статистических данных, полученных при эксплуатации мельницы в 2011 г., выявлено следующее:

1. Каждый вид броней (барабанные, торцовые загрузочные, торцовые разгрузочные и брони загрузочного патрубка) имеет различный срок эксплуатации. Поэтому требуется ежемесячно производить замену того или иного вида футеровки.

2. Для каждого вида броней, независимо от изготовителя, были определены участки наиболее интенсивного износа и средняя ориентировочная продолжительность эксплуатации.

3. У некоторых типов броней выявлены общие скрытые дефекты литья, независимо от изготовителя.

Общеизвестно, что наличие литых дефектов в отливках способно приводить к снижению их эксплуатационной стойкости. Наиболее опасными являются скрытые литые дефекты, которые нельзя исправить после производства литой детали.

После вывода из эксплуатации броней, достигших определённой степени изнашивания, были выявлены скрытые литые дефекты: концентрированная усадочная раковина, усадочная пористость (рис. 2). Наличие подобных дефектов способствует ослаблению сечения литой детали и значительному снижению эксплуатационной стойкости.

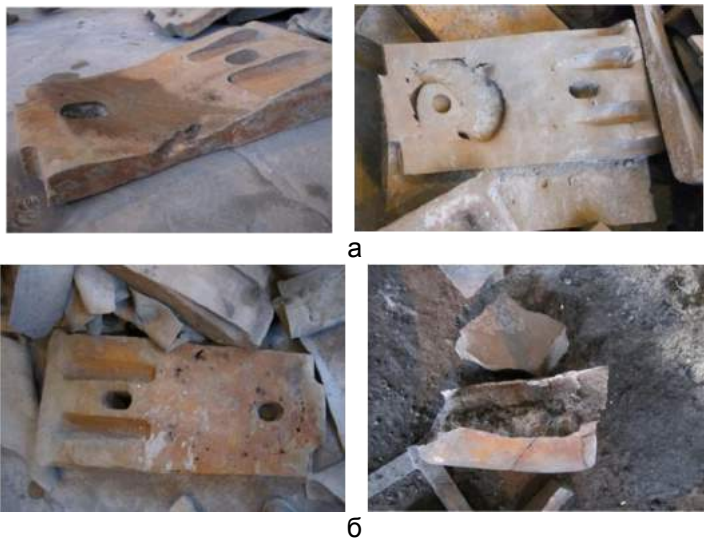


Рис. 2. Скрытые литые дефекты в отливке «Броня торцевая»:  
а – усадочная раковина; б – усадочная пористость

Обнаруженные скрытые литые дефекты в виде несплошностей в теле отливки, несомненно, приводят к снижению эксплуатационной стойкости применяемых в мельнице броней из стали марки 110Г13Л.

Подобного рода дефекты, встречающиеся в литых бронях, свидетельствуют о том, что литейная технология, по которой изготавливают брони в литейном цехе, несовершенна и требует доработки.

На основании проведённого мониторинга эксплуатации броней в мельнице была определена цель – разработать и выполнить мероприятия по увеличению стойкости броней путём совершенствования литейной технологии их изготовления; конструкционного изменения конфигурации броней с учётом характера износа для увеличения периода эксплуатации футеровок мельницы и оптимизации сроков для одновременной замены.

УДК 621.746.5.047

**А.М. Столяров**

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

**В.В. Мошкунов, А.С. Казаков**

ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»

### **ВЕРХНЯЯ ГРАНИЦА ПРОНИЦАЕМОСТИ ДВУХФАЗНОЙ ЗОНЫ В НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ СЛЯБАХ ИЗ ТРУБНОЙ СТАЛИ**

Все новые слябовые МНЛЗ имеют оборудование для осуществления мягкого обжата отливаемых заготовок. В результате мягкого обжата непрерывнолитой заготовки на небольшую величину – максимум до 8 мм происходит сближение фронтов кристаллизации, создается гидродинамическое давление расплава, что улучшает условия подпитки расплавом локальных участков двухфазной зоны и позволяет компенсировать уменьшение объема металла при его усадке в процессе затвердевания [1]. Результатом этого является снижение пористости и химической неоднородности осевой части сляба [2–4].

Известно [5], что наибольшая эффективность от использования мягкого обжатия достигается в том случае, если оно осуществляется на строго определенном участке, расположенном в конечной части лунки жидкого металла между двумя границами проницаемости двухфазной зоны. Верхняя граница проницаемости – «граница выливаемости» характеризует начало затруднения подпитки жидким расплавом двухфазной зоны. По мнению разных авторов, этой границе соответствует наличие 0,80–0,65 жидкости в двухфазной зоне заготовки. Считается, что на данную величину оказывают влияние различные факторы: химический состав разливаемой стали, скорость вытягивания заготовки из кристаллизатора, интенсивность вторичного охлаждения заготовки, конструктивные особенности конкретной МНЛЗ.

В кислородно-конвертерном цехе ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» эксплуатируется слябовая МНЛЗ криволинейного типа с вертикальным участком. Одноручьева машина имеет базовый радиус 11 м и вертикальный участок длиной около 2,7 м. На машине могут отливаться слябовые заготовки толщиной 190, 250 и 300 мм и шириной 1400–2700 мм. Машина в зоне вторичного охлаждения (ЗВО) имеет оборудование для осуществления мягкого обжатия сляба. Выбор места осуществления мягкого обжатия на технологическом канале МНЛЗ производится на первом или втором уровнях автоматизированной системы МНЛЗ. Данная система в динамическом режиме рассчитывает протяженность лунки жидкого металла и определяет номер сегмента ЗВО, в котором расположен конец лунки. Мягкое обжатие сляба рекомендуется производить в двух предыдущих сегментах. Для повышения эффективности мягкого обжатия его необходимо начинать на том участке сляба, внутри которого относительное содержание жидкости в двухфазной зоне соответствует первому порогу проницаемости этой зоны. С целью уточнения относительного содержания жидкости в двухфазной зоне для первого порога проницаемости было проведено исследование по специально разработанной методике.

Согласно этой методике необходимо выполнить следующие условия: режим мягкого обжатия непрерывнолитой заготовки отключается с установлением термического конуса, соответствующего естественной усадке стали при ее затвердевании; скорость вытягивания заготовки из кристаллизатора должна быть постоянной в течение 30 и 40 мин для слябов толщиной соответственно 250 и

300 мм; изменение температуры металла в промежуточном ковше не должно превышать десять градусов.

Эксперимент проводится в следующей последовательности: на технологическом канале МНЛЗ выбираются роликовые сегменты, в которых согласно расчетным данным, выдаваемым автоматизированной системой в режиме реального времени, располагается двухфазная зона сляба с относительным содержанием жидкости менее 0,80; при помощи перемещения гидроцилиндров осуществляется поочередное открытие выбранных сегментов поднятием верхней рамы на 3 мм, начиная с наиболее удаленного от кристаллизатора сегмента; производится постоянный контроль силы, развиваемой гидроцилиндрами на входе и выходе в открытых сегментах; фиксируется момент быстрого роста силы как на входе, так и на выходе из сегмента и соответствующее этому моменту расчетное содержание жидкости в двухфазной зоне сляба, которое характеризует первый порог проницаемости двухфазной зоны.

Данные о четырех опытных плавках, проведенных после корректировки расчетных данных, выдаваемых автоматизированной системой МНЛЗ о протяженности лунки жидкого металла в непрерывнолитем слябе, представлены в таблице.

В качестве примера рассмотрим один из проведенных опытов. В четвертом опыте отливались слябы толщиной 300 мм из стали марки 09Г2С со скоростью 0,8 м/мин. Данный опыт отличается от предыдущих тем, что при его проведении поочередно было открыто самое большое количество сегментов ЗВО – пять, начиная с 14-го и заканчивая 10-м. Как и в предыдущих опытах, продолжительность открытия каждого сегмента и промежутки времени между закрытием предыдущего и открытием следующего сегментов были по три минуты. На рис. 1 и 2 показаны результаты четвертого опыта.

Из анализа рисунков следует, что в 14-м и 13-м сегментах ферростатического давления расплава нет. Об этом свидетельствует стабильно низкое усилие, развиваемое гидроцилиндрами после поднятия сегментов, 100 кН – на входе и 400 кН – на выходе (см. рис. 1). Напротив, в 11-м и 10-м сегментах явно выражено ферростатическое давление расплава: усилия гидроцилиндров достаточно высокие, они выросли с 700–800 кН на входе в 11-й сегмент до 1000 кН на выходе и с 950 кН на входе в 10-й сегмент до 1200 кН на выходе из него.

## Данные опытных плавков

Параметр	Опытные плавки			
	1	2	3	4
Марка стали	20	20	D	09Г2С
Содержание элемента, %:				
углерод	0,163	0,164	0,10	0,08
кремний	0,285	0,280	0,26	0,71
марганец	0,436	0,524	0,91	1,58
сера	0,004	0,002	0,003	0,003
фосфор	0,012	0,014	0,008	0,010
хром	0,103	0,064	0,040	0,040
никель	0,036	0,037	0,026	0,030
медь	0,063	0,059	0,056	0,070
алюминий	0,047	0,035	0,030	0,040
титан	0,003	0,003	0,015	0,020
азот	0,004	0,005	0,005	0,005
ниобий	0,001	0,001	0,027	0,004
ванадий	0,006	0,008	0,039	0,003
кальций	0,002	0,002	0,002	0,003
водород (ppm)	2,0	2,0	2,1	2,5
Размеры сечения сляба, мм:				
толщина	250	250	250	300
ширина	2050	2050	2050	1650
Скорость вытягивания сляба, м/мин	0,9	1,0	1,0	0,8
Температура ме- талла в промежу- точном ковше, °С	1540	1537	1538	1530
Температура ликвидус стали, °С	1517	1518	1519	1514
Номера поднятых сегментов ЗВО	11, 10	12, 11	13, 12,11, 10	14,13, 12,11, 10

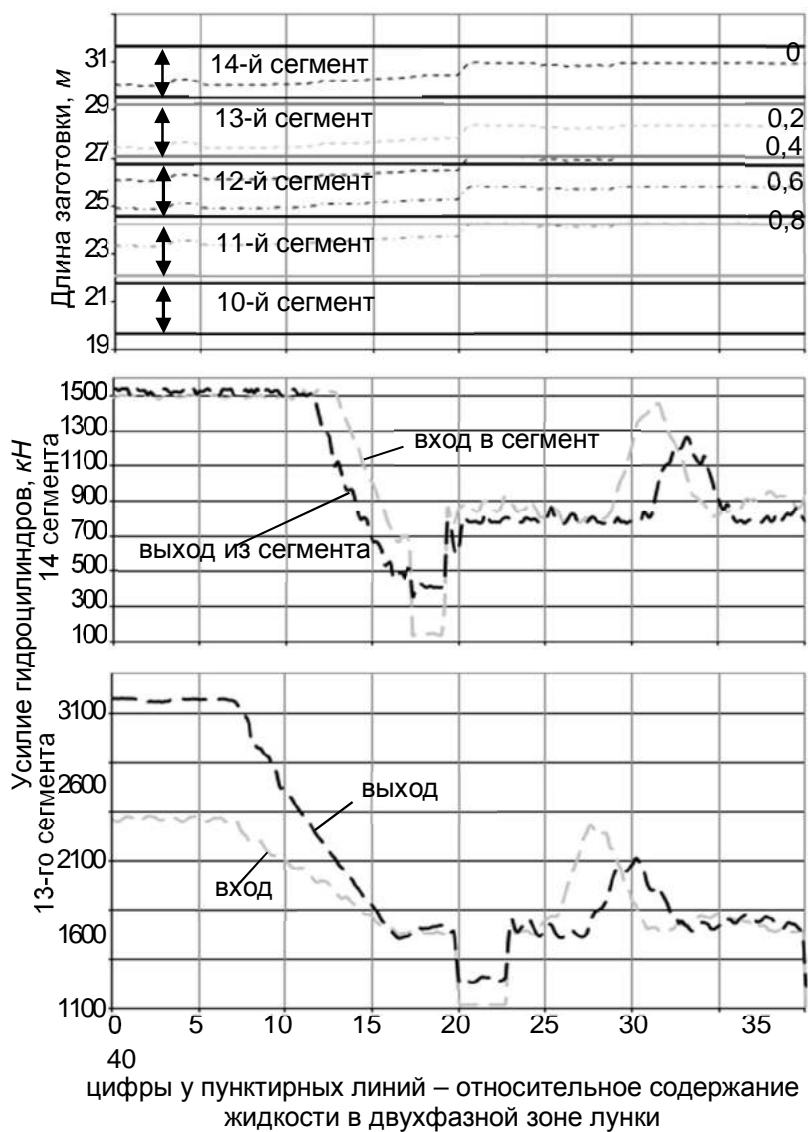


Рис. 1. Изменение усилий гидроцилиндров открытых 14-го и 13-го сегментов и длины отлитой заготовки в четвертом опыте

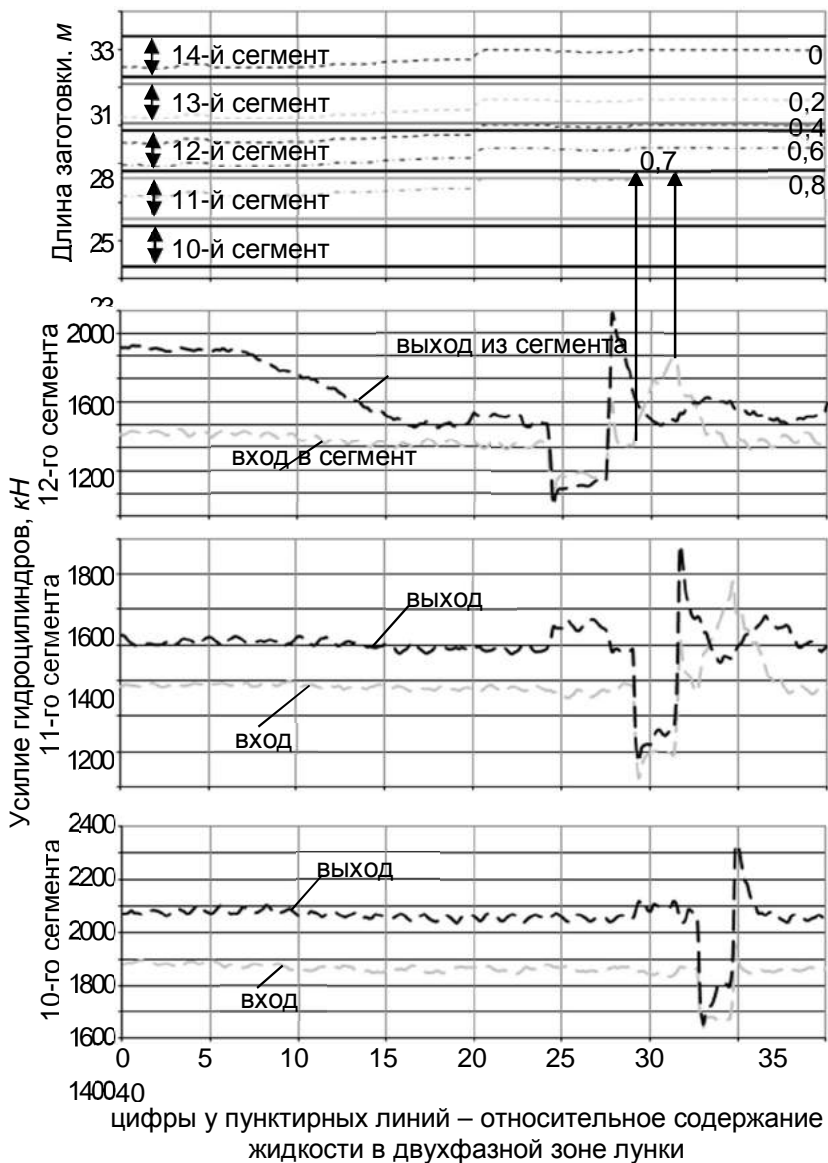


Рис. 2. Изменение усилий гидроцилиндров открытых 12-го, 11-го и 10-го сегментов и длины отлитой заготовки в четвертом опыте



При поднятии 12-го сегмента (см. рис. 2) сначала наблюдается кратковременный провал усилий гидроцилиндров на входе и выходе до 550 кН, а затем как на входе, так и на выходе усилия быстро увеличиваются – до 800 кН на входе и 750 кН на выходе. Это говорит о развивающемся ферростатическом давлении расплава. По расположению сплошной горизонтальной линии, показывающей удаленность входа в 12-й сегмент от поверхности жидкого металла в кристаллизаторе, относительно пунктирных линий, характеризующих двухфазную зону с относительным содержанием жидкости в двухфазной зоне 0,6 и 0,8, можно определить (показано стрелками), что на входе в 12-й сектор на 29–32 минутах эксперимента относительное содержание жидкости в двухфазной зоне составляло 0,75. Именно такая величина характеризует верхнюю границу проницаемости двухфазной зоны заготовки в данном опыте.

По результатам всех четырех опытов было установлено, что верхняя граница проницаемости двухфазной зоны в заготовках из трубной стали, отлитых на криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком, характеризуется наличием в двухфазной зоне относительного содержания жидкости от 0,56 до 0,75, в среднем – 0,67.

Таким образом, в результате проведенных экспериментов при разливке трубной стали на слябовой МНЛЗ криволинейного типа с вертикальным участком кислородно-конвертерного цеха ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» уточнены значения относительного содержания жидкости в двухфазной зоне для верхней границы проницаемости – «границы выливаемости» этой зоны.

### Литература

1. Мошкунов В.В., Столяров А.М. Сущность метода мягкого обжатия слябовой непрерывнолитой заготовки // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Вып.12. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 59 – 65.
2. Мошкунов В.В., Столяров А.М. Эффективность мягкого обжатия слябовой непрерывнолитой заготовки // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Вып.12. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 78 – 82.

3. Мошкунев В.В., Столяров А.М., Казаков А.С. Корректировка скорости вытягивания слябов из трубной стали, отливаемых на МНЛЗ с мягким обжатием // Литейные процессы: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. Вып.11. С. 146 – 151.
4. Мошкунев В.В., Столяров А.М., Казаков А.С. Снижение осевой химической неоднородности трубной стали в результате мягкого обжатия непрерывнолитого сляба // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №2 (38). С. 24 – 25.
5. Еланский Г.Н. Разливка и кристаллизация стали. М.: МГВМИ, 2010. С. 128.

УДК 621.74:669.13

**И.О. Леушин, Д.Г. Чистяков**

Нижегородский государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексеева

### **ФОРМИРОВАНИЕ ТЕРМОКАЛИНОСТОЙКОЙ СТРУКТУРЫ ПОСРЕДСТВОМ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ФЕРРИТО- И ГРАФИТООБРАЗОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ОТЛИВОК СТЕКЛОФОРМ**

Одним из направлений современного металловедения является создание материалов деталей с комплексом свойств, позиционирующих себя в технологическом плане как разнофункциональные. Так, формирование высоких теплофизических характеристик изделий (например, деталей стеклоформ) из литейных чугунов осуществляется посредством получения графитовых включений пластинчатой формы с целью обеспечения в процессе эксплуатации деталей высокой скорости отвода тепла с рабочих<sup>1</sup> поверхностей. Однако детали такого типа в процессе своей работы имеют склонность к появлению таких дефектов, как трещины разгара, коробление формы, окисление и рост материала. Общеизвестные решения данной проблемы (легирование широкой гаммой элемен-

---

<sup>1</sup> Поверхности, контактирующие, например, с расплавленным стеклом.

тов с приданием изделию большого диапазона эксплуатационных свойств, физические методы упрочнения поверхностей и др.) представляются авторам как «паллиативные решения», касающиеся улучшения одного-двух эксплуатационных показателей детали, но непременно ведущие к ухудшению практически всех остальных. Как правило, снижение суммарного эффекта от внедрения результатов таких решений происходит в короткие сроки ввиду формирования дефектов нового происхождения, с которыми снова необходимо бороться.

Схожий принцип совершенствования эксплуатационного ресурса изделий применим и для деталей стеклоформ, используемых для массового выпуска стеклянной тары (бутылки, флаконы), где основными направлениями улучшения рабочих качеств формовых комплектов являются легирование Cr, Ni, Mo, Ti и V, а также упрочнение рабочего слоя поверхностной закалкой или нанесением тонкого слоя никелевого покрытия (преимущественно применяемый среди производителей способ). Наиболее популярным материалом для деталей такого типа является легированный чугун с пластинчатой формой графита. Однако общеизвестно [4], что ферритные нелегированные чугуны с шаровидным и вермикулярным графитом при более высокой прочности за счет большей пластичности имеют такие же значения предела текучести, как и серый легированный чугун. Поэтому такие чугуны практически равноценности с точки зрения демпфирующей способности<sup>2</sup>. При этом особую роль в процессе эксплуатации деталей стеклоформ играет пластическая деформация, создающая благоприятные условия для нарушения сплошности детали (появление трещин) и снижения ее жаростойкости, то есть окисления и роста чугуна. Ввиду этого возникает необходимость в получении материала для деталей стеклоформ с высокими эксплуатационными характеристиками, обеспечивающими большой запас вязкости разрушения, высокую прочность и хорошую обрабатываемость.

Ранее авторами было установлено [1], что рабочий слой детали должен обладать высокими показателями термоокалиностойкости, и на практике это достигается формированием ферритной матрицы чугуна с компактной формой графита (вермикулярный и/или шаровидный), обладающей повышенным сопротивлением к

---

<sup>2</sup> Экономическая целесообразность применения предприятиями стеклофарной промышленности в качестве конструкционного материала легированного СЧ взамен использования низколегированного ферритного ЧВГ в настоящее время находится под вопросом.

термоусталостному воздействию циклических нагрузок. Помимо этого, благодаря такой структуре достигаются высокие прочностные характеристики (за счет компактного графита) и хорошая обрабатываемость изделия (за счет ферритной матрицы чугуна). Это подтверждается и исследованиями современных ученых [2]. Ввиду этого, по мнению авторов, необходимым шагом в создании деталей с широким спектром эксплуатационных возможностей является получение материала со слоистой структурой, формирующей в каждом отдельном слое свой комплекс потребительских свойств.

На основании ряда вышеописанных доводов и экспериментальных исследований [1,3] установлено, что необходимый комплекс свойств для деталей стеклоформ достигается путем формирования градиентной структуры литья, когда рабочий слой имеет структуру чугуна с шаровидным графитом (ВЧ) в ферритной металлической матрице, а промежуточный и наружный – с вермикулярным (ЧВГ) и пластинчатым (СЧ) графитом соответственно. Повышение склонности такого чугуна к первичной графитизации и ферритизации металлической основы достигается легированием кремнием в диапазоне 4–5%. Градиентное расположение углеродистой фазы чугуна является наиболее приемлемым с точки зрения:

- повышения теплофизических характеристик готовой детали (градиента теплоотвода);
- улучшения механических показателей формового комплекта;
- сдерживания процесса формирования вюститной фазы на рабочих кромках детали;
- повышения термостойкости рабочей поверхности.

С целью создания градиентной структуры отливок наилучшим образом себя зарекомендовал способ литья расплава чугуна на металлический холодильник (рис. 1, а), помещаемый в песчаную форму (рис. 1, б), позволяющий получать отливки (рис. 1, в), обладающие мелкозернистой структурой при обеспечении низкой доли цементита (устранение отбела) и перлита в рабочем слое.

Внутренним фактором, инициирующим процессы феррито- и графитообразования, выступает химический состав чугуна. Высокое содержание углерода (до 3.5%) и кремния (до 5%) способствует формированию большого количества графитовых включений в легированной кремнием ферритной матрице, обладающей достаточным запасом вязкости при высокой твердости кремнистого

феррита. Достаточность углеродного эквивалента проводилось по экспресс-анализу контроля степени отбела пробников (рис.1, з).



Рис. 1. Изготовление отливок стеклоформ:  
а – металлический холодильник; б – литейные формы;  
в – отливки; з – излом пробы на определение углерода

Внешним фактором, регулирующим образование феррита в рабочем слое отливки, выступает литейная краска, содержащая элементы, которые при высокой температуре реализуют себя в роли ферритизаторов (Si, Sr, Ca, Ba). Не менее важной задачей применения краски является создание зерен металлической основы и графитовых включений в заданном диапазоне (10–20 мкм) на глубину не менее 10 мм, при получении (в сырой состоянии) феррита в количестве Ф50–Ф80 с минимальной долей цементитной фазы (<2%).

Обеспечение градиентной структуры литья осуществлялось посредством точного дозирования модифицирующими добавками, применением реакционных красок и скоростным режимом охлаждения отливки. Для получения нужной структуры литья использовались модификаторы: силикокальций СК20, ферросиликомагний ФСМг5, ферросилиций ФС45. Градиент охлаждения отливки задавался применением металлического холодильника массой 9.3 кг (заформованного в нижнюю полуформу) при массе отливки и прибыли 29 и ~9 кг соответственно.

На рис. 2 представлена схема нанесения литейной краски на металлический холодильник, где теплоаккумулирующий слой, содержащий в своем составе мелкодисперсный маршаллит (табл. 1), препятствует получению крупных цементитных включений, а активный слой, содержащий в своем составе легирующие компоненты, благоприятствует протеканию процессов графито- и ферритообразования.

Модифицирование чугуна проводилось в следующей последовательности:

- предсфероидизирующее инокулирование жидкого чугуна силикокальцием СК20 в количестве 0.5% (по масс.);
- глобуляризация графитовых включений ферросиликомагнием ФСМг5 в количестве 0.5% (по масс.);
- послесфероидизирующее инокулирование расплава ферросилицием ФС45 в количестве 0.5% (по масс.).

Составы применяемых литейных красок – теплоаккумулирующей и активной – представлены в табл. 1 и 2 соответственно.

Разливка жидкого чугуна производилась в следующей последовательности: первая форма – через 2 мин после модифицирования, вторая – через 5 мин, третья – через 8 мин. Наилучший градиент графитовых включений был получен в последней форме.

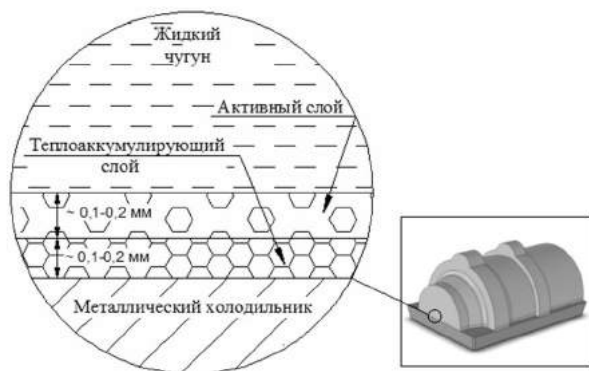


Рис. 2. Схема нанесения литейной краски  
металлический холодильник

Таблица 1  
Состав теплоаккумулирующей литейной краски

Состав, %		
Маршаллит типа А ( $\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Fe}_{\text{мет}}$ )	Жидкое стекло ( $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$ )	Ацетон ( $\text{CH}_3 \cdot \text{C}(\text{O}) \cdot \text{CH}_3$ )
40	20	40

Таблица 2

## Составы активных литейных красок

Состав, %				
Борная кислота (H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> )	Смесь окислов (BaO <sub>2</sub> +CaO <sub>2</sub> +SrO <sub>2</sub> )	Тетраборат натрия (Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O)	Жидкое стекло (Na <sub>2</sub> O·(SiO <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> )	Ацетон (CH <sub>3</sub> ·C(O)·CH <sub>3</sub> )
Состав 1				
30	15	30	15	40
Состав 2				
30	30	30	15	40

Химический состава полученного чугуна, %: 3,48 С, 0,62 Mn, 4,07 Si, 0,19 Cr, 0,001 S, 0,05 Mg. Микроструктура изготовленных отливок (в форме, заливаемой в последнюю очередь) на глубинах ~10, ~40 и ~60 мм представлена на рис. 3. Микроструктурный анализ проводился на металлографическом цифровом комплексе «Altami MET3MT».

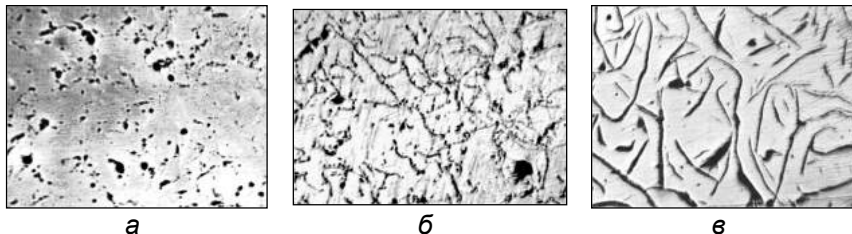


Рис.3. Градиентная (текстурированная) структура литья, сформировавшаяся посредством послойного расположения графита в отливке на глубине,  $\times 100$  [не травлено]:  
 а – до 10 мм, б – 10–50 мм, в – более 50 мм

Целью применения литейных красок различного химического состава являлось определение влияния модифицирующей добавки BaO<sub>2</sub>+CaO<sub>2</sub>+SrO<sub>2</sub> на степень первичной графитизации и ферритизации чугуна в граничном с металлическим холодильником слое. При контакте с холодильником в чугуне образует множество сложеннолегированных карбидов на глубину до >5 мм, что неблагоприятно сказывается как на качестве механической обработки отливок, так и на продолжительности высокотемпературной выдержки при термической обработке литых заготовок. На рис. 4 представлена

структура чугуна без применения литейной краски (рис. 4, а) и с нанесенными на холодильник красками вышеприведенных составов (рис.4, б, в).

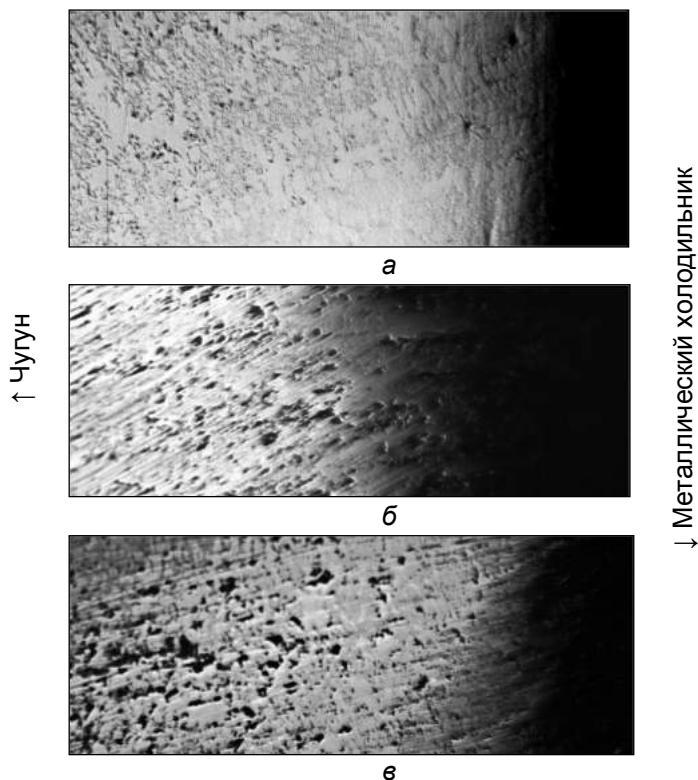


Рис. 4. Микроструктура чугуна на границе «отливка -металлический холодильник» [не травлено,  $\times 100$ ]:  
а – без краски; б – состав 1; в – состав 2

Микроструктурный анализ граничных слоев в отливках показал, что наибольшее количество графита (и соответственно меньшее количество цементита) обнаружено в отливке, получаемой литьем расплава на металлический холодильник с нанесенной на него краской состава 2. В этом случае на глубине до 15 мм от кромки, контактирующей с металлическим холодильником, был получен шаровидный графит правильной (ШГф5) и неправильной (ШГф4) форм с диаметром включений 10–15 мкм (ШГд15) неравномерного рас-



предела в металлической основе в количестве 6% (ШГ4) по ГОСТ 3443. Слой на глубину 10–55 мм содержал преимущественно вермикулярный графит извилистой (ВГф2) и утолщенной (ВГф3) форм, неравномерно распределенный в металлической основе (ВГр2) в количестве 85% (ВГ85) от общего числа включений графита. В наружном слое отливки (на глубине >55 мм) преобладал преимущественно пластинчатый графит завихренной (ПГф2) формы длиной не менее 45 мкм (ПГд4), колониально расположенный в металлической основе (ПГр3) в количестве 6% (ПГ6).

Необходимо отметить, что структурное соответствие в полученных деталях может быть нарушено как в процессе эксплуатации формовых комплектов на производственной линии (случай 1), так и при упрочнении ее рабочих кромок никелевым порошком (посредством газопламенного напыления) перед установкой формокомплекта на стеклоавтомат (случай 2).

В первом случае перераспределение структурных составляющих чугуна является следствием теплофизических процессов, происходящих в матрице чугуна за счет термоциклических процессов при эксплуатации детали. Это связано с тем, что верхней температурной границей, за которой следует трансформация структуры чугуна, является точка  $\alpha \leftrightarrow \gamma$  превращения ( $\sim 800^\circ\text{C}$  для чугуна с 4% Si и микролегированием другими элементами, рис. 5), после превышения которой в поверхностных слоях происходит ряд превращений (под дополнительным воздействием смазочных веществ в зоне контакта «металлоформа–расплавленное стекло») в следующей последовательности: перлит  $\rightarrow$  аустенит  $\rightarrow$  мартенсит.

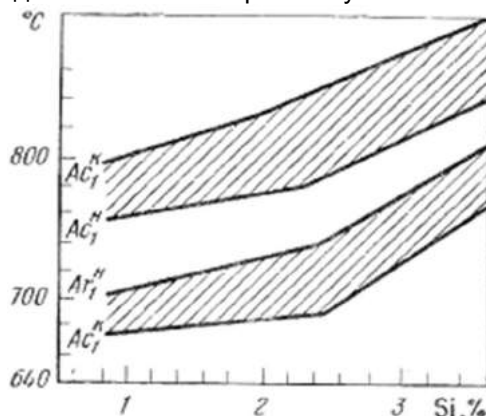


Рис.5. Влияние кремния на положение критических точек [5]

Следствием приведенного превращения является резкое снижение пластичности материала детали и появление локальных максимумов напряжений, что формирует благоприятные условия для появления окислов сложных нестехиометрических составов и трещин разгара на контактных поверхностях. Учитывая, что пористость никелевого покрытия при газопламенном напылении частиц диаметром 30–300 мкм по данным [6] составляет 8–9%, процесс теплопередачи через деталь является в значительной степени нестабильным, за счет процесса множественного адгезионного отслаивания и когезионного расслоения покрытия («множественное растрескивание») от пор в направлении поверхности покрытия.

Во втором случае изменить «нормальное» состояние готовой детали становится возможным на этапе упрочнения ее кромок. В процессе сплавления никеля и чугуна слой материала детали, прилегающий к линии сплавления, будет состоять из перекристаллизовавшегося сплава, микроструктура которого может иметь отличный от ранее полученного чугуна состав. Не редкость, когда структура чугуна после наплавки имеет зоны как с мартенситом, аустенитом, первичными и вторичными карбидами, так и с ледебуритными включениями. Такое многообразие фазовых составляющих определяется различными пиковыми температурами, возникающими при сварке никеля и чугуна, большой разницей удельных тепловложений и скоростным режимом охлаждения чугуна после окончания процесса сплавления, что неминуемо сказывается на дальнейшей ресурсоспособности всего формового комплекта.

В обоих приведенных случаях наблюдается высокая степень девиации эксплуатационных показателей деталей на производственной линии, что не позволяет на начальном этапе (при установке стеклоформы на автомат) прогнозировать ресурс работы формовых комплектов. Неминуемость девиационных процессов в выбраковке деталей стеклоформ на производственной линии объясняется структурной аберрацией как феррит-перлитных зерен в поверхности контакта «расплавленное стекло-деталь», так и сегрегацией графит-цементитных включений в этом пограничном слое в процессе нарушения сплошности никелевого покрытия или его расслоения.

В результате исследования установлено, что:

- графитизация чугуна – управляемый процесс, на интенсивность протекания которого оказывают активное воздействие как внутренние (легирующие элементы), так и внешние (состав литейной краски) факторы;

- формирование необходимой структуры заготовок деталей стеклоформ может быть нарушено при последующих этапах получения готового изделия или в процессе эксплуатации деталей на производственной линии.

Таким образом, формирование структуры детали с низкой трансформационной активностью (металлическая матрица – феррит, графит компактной формы в зоне максимального теплового удара, пластинчатой – в зоне теплоотдачи в окружающую среду) снижает вероятность появления нежелательных фазовых включений (цементит, мартенсит) в процессе эксплуатации деталей. Это связано, прежде всего, с образованием в процессе эксплуатации деталей временных диссипативных структур, обуславливающих направление и степень структуризации чугуна в местах высоких пластических деформаций, вызываемых неравномерными температурным градиентом и ударными нагрузками со стороны расплавленного стекла.

На основании вышеизложенных доводов и проведенных исследований авторами в производственных условиях были изготовлены детали стеклоформ с заданным структурным соответствием, проявляющемся в текстурированном расположении структурных составляющих материала, которое должно обеспечить замедление проявления процессов дисфункционального поведения структуры (трансформация углеродистых включений, нарушение гомогенности строения), тормозящей процессы теплоотвода через массу детали.

На данный момент эксплуатационная стойкость изготовленных формовых комплектов оценивается в условиях массового производства стеклянной тары в ОАО «Свет» (г. Можга, Республика Удмуртия).

### Литература

1. Леушин И.О., Чистяков Д.Г. Влияние структурообразования и фазового состава чугунных отливок стеклоформ на эксплуатационные свойства готовых изделий // Изв. вузов. Черная металлургия. 2013. №5. С. 19–23.
2. Бондаренко С.И., Гладкий И.П. Влияние формы графита на термическую стойкость чугуна // Вестник ХНАДУ. 2006. №33. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-formy-grafita-na-termicheskuyu-stoykost-chuguna> (дата обращения: 10.09.2013).
3. Чистяков Д.Г., Леушин И.О. Формирование градиентной структуры в деталях стеклоформ из чугунов с различной степенью

- глобуляризации графита // Труды 10-й Международной научно-технической конференции «Современные металлические материалы и технологии» (СММТ'13). 2013. С. 253–254.
4. Андреев В.В., Ильичева Л.В., Платонов В.Н. Длительная прочность и термостойкость чугуна с вермикулярным графитом // Литейное производство. 1984. №4. С. 4–5.
  5. Бобро Ю.Г. Легированные чугуны. М.: Metallurgia, 1976. 288 с.
  6. Проблемы разрушения поверхностно упрочненных материалов с различной геометрией границы раздела «покрытие-основа» / С.В. Панин, С.К. Юсиф, Б.Б. Овечкин и др. // Известия ТПУ. 2011. №2. С. 50-57.

УДК 669. 046.54:669.15

**А.С. Гольцов, К.Г. Пивоварова, Д.К. Тарасов**

Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

### **ВЗАИМОСВЯЗЬ ПЕРВИЧНОЙ ЛИТОЙ СТРУКТУРЫ И КИНЕТИКИ ОКИСЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ**

Для изучения кинетики окисления и структурных превращений железоуглеродистых сплавов при нагреве использовали термоаналитический прибор для синхронного термического анализа STA (Iupiter 449 F3). Этот анализ позволяет одновременно при одном измерении образца проводить дифференциальную сканирующую калориметрию (ДСК) и термогравиметрический анализ (ТГ). Методом ДСК фиксировали разность температур, которая пропорциональна разности теплового потока, возникающего между эталоном (для STA – пустой тигель) и образцом, находящимся в другом тигле из этого материала. В нашем случае материал тигля – аллунд. Методом термогравиметрии измеряли изменение массы образца в зависимости от температуры при определенных контролируемых условиях.

Все исследования проводили в атмосфере воздуха в условиях непрерывного нагрева образца в интервале температур 20–1200°C со скоростью 20 град/мин. Образцы для испытания имели кубическую форму с размером ребра 0,003 м, масса навески – от 15 до 25 мг.

С помощью термогравиметрии следили за всеми происходящими в образце процессами, сопровождающимися уменьшением или увеличением массы во время нагрева и охлаждения. Наибольшая потеря массы отмечена для образцов стали 75Х24ТЛ в интервале температур до 800°С, которая составляет 0,079 мг, что соответствует скорости окисления 7,42 мг/(см<sup>2</sup>ч) (табл. 1). При нагреве выше 1000°С у образцов из этой стали наблюдается потеря массы (0,98%), что связано с выделением большого количества газов, которые способствуют растрескиванию оксидного слоя и образованию трещин в поверхностном слое металла. Это приводит к снижению жаростойкости стали, что согласуется с исследованиями, представленными в работе [1].

При нагреве образцов исследованных сплавов от 800 до 1000°С происходит существенный прирост их массы и, как следствие, увеличение скорости окисления в зависимости от марки стали от 1,5 до 7 раз, по сравнению со скоростью окисления в температурном интервале от 400 до 800°С.

В отличие от сталей для исследованных чугунов разница в скоростях окисления в зависимости от изменения температурного интервала не столь существенна. Наименьшую скорость окисления в исследованных температурных интервалах наблюдается у чугуна марки ИЧ220Х18Г4Ю2Б2НТ.

Таблица 1

Изменения массы и скорости окисления при нагреве высокохромистых железуглеродистых сплавов

Марка сплава	$\Delta m$ , мг, в температурном интервале, °С		$v_{ок}$ , мг/(см <sup>2</sup> ч), в температурном интервале, °С	
	400–800	800–1000	400–800	800–1000
75Х24ТЛ	0,079	0,0596	7,42	12,7
ИЧ220Х18Г4НТ	0,0425	0,0458	1,73	4,24
ИЧХ28Н2	0,0441	0,0539	1,21	3,33
ИЧ270Х24НТБР	0,0514	0,0471	1,39	3,32
ИЧ220Х18Г4Ю2БНТ	0,0377	0,0502	1,98	6,06
40Х24Н12СЛ	0,0203	0,0570	1,45	9,34
12Х17Л	0,0560	0,0560	3,41	7,84
ИЧ220Х18Г4Ю2Б2НТ	0,0560	0,0440	1,18	2,13

Прирост массы образцов из чугуна ИЧ220Х18Г4Ю2Б2НТ при нагреве от 800 до 1000 °С наименьший и равен 0,17%. Таким обра-

зом, по результатам ТГ анализа наиболее жаростойким является чугун ИЧ220Х18Г4Ю2Б2НТ.

В высокохромистых чугунах наблюдается экзотермический эффект, температура начала которого для исследованных сплавов показана в табл. 2. Он соответствует окислению элементов, находившихся как в составе металлической матрицы, так и в составе карбидов, что приводит к образованию на поверхности образца оксидной пленки, а это, в свою очередь, к повышению разности температур на кривой ДСК.

Анализ полученных кривых ДСК железуглеродистых сплавов показал, что до температуры 600°C включительно значение разности температур остается постоянной, т.е. наблюдается стабильный темп окисления почти у всех исследованных сплавов, кроме образцов стали 75Х24ТЛ и особенно стали 12Х17Л. Для этих образцов отмечается резкое повышение значений ДСК до температуры 300°C, затем у стали 75Х24ТЛ наблюдается стабилизация процесса окисления до 650°C, а у стали 12Х17Л появляется эндотермический эффект (пик при температуре 375°C), после чего происходит резкое повышение значений ДСК, что говорит об интенсификации процесса окисления (рис. 1).

Таблица 2

Термические эффекты, протекающие при нагреве образцов до 1200°C

Марка сплава	Температура, °С		Температурный интервал образования оксидной пленки, °С
	экзотермического эффекта	эндотермического эффекта	
75Х24ТЛ	-	962	-
ИЧ220Х18Г4НТ	605	953	605-708
ИЧХ28Н2	584	970	556-666
ИЧ270Х24НТБР	613	823, 956	613-727
ИЧ220Х18Г4Ю2БНТ	631	957	631-717
ИЧ220Х18Г4Ю2Б2НТ	625	957	629-736
40Х24Н12СЛ	-	963	-
12Х17Л	600	375, 961	-

Температура, при которой наблюдали экзотермический эффект, зависит от состава металлической основы и комплексных карбидов первичной литой структуры. У образцов из чугуна ИЧХ28Н2 при температуре 584°C раньше, чем у исследованных

чугунов, зафиксирован экзотермический эффект, соответствующий образованию оксидной пленки за счет окисления карбидов  $M_{23}C_6$ , в отличие от чугунов, содержащих в своем составе карбиды типа  $(Me)_7C_3$ . В чугунах, содержащих в своем составе карбиды типа  $(Me)_7C_3$ , начало экзотермического эффекта наблюдается при температурах выше  $604^{\circ}C$ .

Сталь 40X24H12СЛ при нагреве до температуры  $600^{\circ}C$  хорошо сопротивляется окислению, в отличие от сталей 75X24ТЛ и 12X17Л. За счет создания стабильной литой аустенитной структуры, легированной никелем и хромом, в литом состоянии. Четкого пика экзотермического эффекта, связанного с образованием защитного оксидного слоя на кривой ДСК для сталей исследованных марок, не наблюдается.

Выявлено, что для всех образцов исследованных сплавов характерен эндотермический эффект, характеризующий распад и растворение карбидов, который наблюдается в температурном интервале  $950\text{--}1010^{\circ}C$  (рис. 2). В результате происходит разрыв связей  $Me\text{--}C$ , карбиды разлагаются с образованием элементов, входящих в их состав (Fe, Mn, Cr), и в дальнейшем происходит их окисление до  $1000^{\circ}C$ .

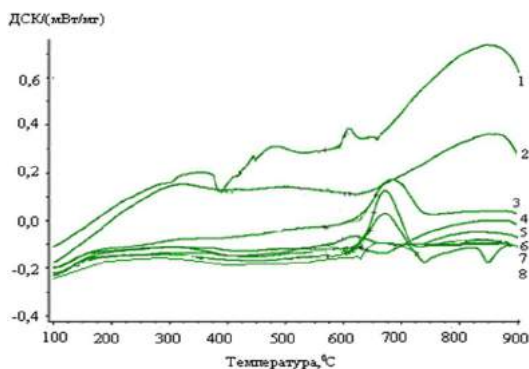


Рис. 1. Кривые дифференциальной сканирующей калориметрии исследованных железоуглеродистых сплавов:

- 1 – 12X17Л; 2 – 75X24ТЛ; 3 – ИЧ220X18Г4Ю2БНТ;
- 4 – 40X24H12СЛ; 5 – ИЧХ28Н2; 6 – ИЧ220X18Г4Ю2Б2НТ;
- 7 – ИЧ220X18ГНТ; 8 – ИЧ270X24НТБР

Согласно результатам работы [2], по мере повышения содержания марганца свыше 2,5% мас., его концентрация в хроми-

стой карбидной фазе повышается до 60 мас. % и, как следствие, происходит снижение концентрации хрома. По своему составу карбидные фазы марганца близки к карбидам хрома  $Cr_7C_3$  и железа  $Fe_3C$ , что объясняет полученные данные фазового состава исследованных сплавов.

Марганец имеет большее сродство к кислороду и высокую диффузионную подвижность. В результате в присутствии окислительной атмосферы происходит его окисление, которое с повышением температуры сопровождается образованием высших оксидов марганца с увеличением коэффициента термического расширения, что приводит к разрушению оксидного слоя и его росту.

Изучение образцов исследованных сплавов наглядно демонстрирует характерный вид разрушения оксидного слоя после испытаний на окалинстойкость при температуре  $1000^{\circ}C$  для чугунов ИЧ220Х18Г4НТ, ИЧ220Х18Г4Ю2БНТ, ИЧ220Х18Г4Ю2Б2НТ, легированных марганцем до 4%.

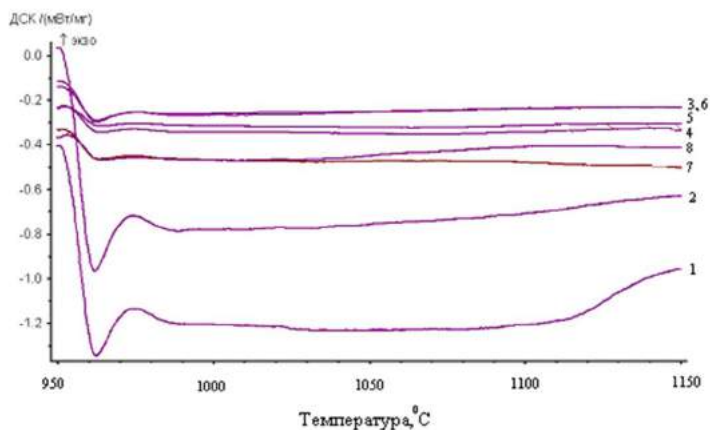


Рис. 2. Кривые ДСК исследованных железноуглеродистых сплавов:  
 1 – 12Х17Л; 2 – 75Х24ТЛ; 3 – ИЧ220Х18Г4Ю2БНТ;  
 4 – 40Х24Н12СЛ; 5 – ИЧХ28Н2; 6 – ИЧ220Х18Г4Ю2Б2НТ;  
 7 – ИЧ220Х18ГНТ; 8 – ИЧ270Х24НТБР

Выделяющийся активный углерод в процессе испытания сплавов на жаростойкость может участвовать как в реакциях синтеза карбидов, так и окисляться в присутствии кислорода, что приводит к образованию газов, о чем свидетельствует уменьшение массы образцов исследованных железноуглеродистых сплавов (табл. 3) независимо от химического состава сплава.



Процессы окисления железоуглеродистых сплавов сопровождаются образованием СО, который создает восстановительную среду вблизи карбидов, защищая их от окисления до определенного момента. Выдвинутая гипотеза находит свое подтверждение, во-первых, при построении графика на основании данных термогравиметрического анализа (рис. 3), который наглядно показывает более стабильный процесс окисления и меньшее относительное изменение массы при нагреве для чугуна ИЧ220Х18Г4Ю2Б2НТ, что подтверждается значением остаточной массы – 99,84%. Во-вторых, подтверждает результаты работ [3], согласно которым в карбидах металлов 4–6 группы растворение кислорода в их решетке сопровождается выделением углерода и соответствующего металла.

В-третьих, сталь 12Х17Л обладает самой низкой окислительной стойкостью из всех исследованных сплавов при температурах 1000°С: ее коэффициент ростоустойчивости равен 1,9 г/(м<sup>2</sup>ч). Полученные результаты подтверждаются изменением кривой ДСК, резкий наклон которой соответствует процессу интенсивного окисления литой структуры. Начиная с температуры 650°С, для образцов из стали 12Х17Л происходит резкое повышение значения ДСК до температуры 860°С, что предположительно связано с интенсивным окислением металлической матрицы и комплексных карбидов типа (Fe,Cr)<sub>3</sub>C.

Таблица 3

Остаточная масса образцов в режиме нагрев – охлаждение до 1200°С

Марка сплава	Остаточная масса образцов
75Х24ТЛ	99,18
ИЧ220Х18Г4НТ	98,86
ИЧХ28Н2	99,32
ИЧ270Х24НТБР	99,15
ИЧ220Х18Г4Ю2БНТ	99,64
ИЧ220Х18Г4Ю2Б2НТ	99,84
40Х24Н12СЛ	99,52
12Х17Л	99,27

Этот факт объясняет полученные минимальные значения окислительной стойкости при температуре испытаний 800°С среди всех исследованных сплавов. При дальнейшем повышении температуры (выше 870°С) значение ДСК снижается очень резко, что пред-

положительно связано с началом распада (растворения) карбидов в металлической основе и их интенсивным окислением в присутствии кислорода. Это приводит к выделениям в атмосферу газов, образующихся при окислении, объемная концентрация которых приводит к разрыву оксидного слоя и его дальнейшему окислению. Данный факт объясняет существенное снижение окалиноустойчивости при температуре испытаний 1000°C у образцов из стали 12Х17Л.

Таким образом, образование оксидного слоя оказывает решающее влияние на окалиноустойчивость и ростоустойчивость высокохромистых сплавов. Окалиноустойчивость определяется физико-химическими процессами избирательного окисления компонентов сплава, а ростоустойчивость преимущественно зависит от соотношения скоростей заполнения микропустот выгоревшего углерода компонентами сплава и их оксидами. В окислительной среде рост чугуна происходит как за счет окислительных процессов, так и за счет фазовых превращений.

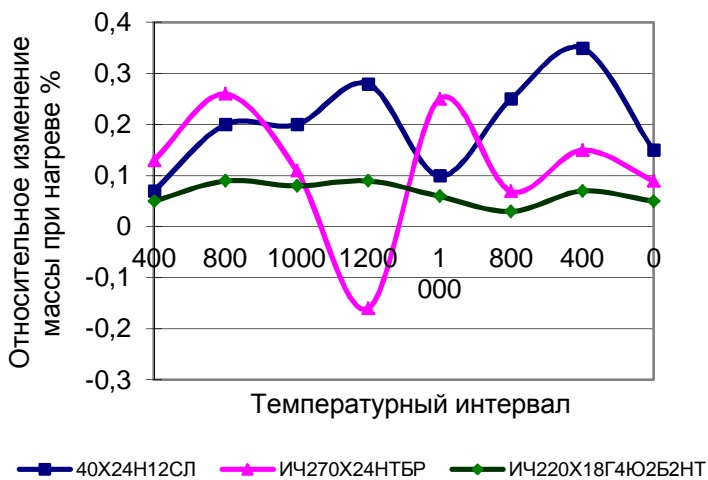


Рис. 3. Процентное изменение массы образца сплава в режиме нагрев – охлаждение от 0 до 1200°C

Следовательно, для снижения скоростей окисления необходимо стремиться к выбору сплавов, не испытывающих фазовых превращений в диапазоне рабочих температур, либо легировать их элементами, значительно повышающими точку фазового превращения.

Установлено, что в чугунах, в которых наблюдается экзотермический эффект (высота пика на кривых ДСК), связанный с образованием оксидного слоя, происходит снижению скорости окисления в отличие от сталей. Максимальный эффект экзотермического процесса наблюдается для исследованного чугуна марки ИЧ220Х18Г4Ю2Б2НТ, в котором скорость окисления в исследованных температурных интервалах оказалась самой низкой. Следовательно, формирование сплошной плотной защитной оксидной пленки способствует повышению жаростойкости высокохромистых чугунов.

### Литература

1. Колокольцев В.М., Гольцов А.С., Брялин М.Ф. Повышение эксплуатационных свойств отливок из жароизносостойких хромомарганцевых чугунов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. № 4 (20). С. 22–25.
2. Комплексно-легированные белые чугуны функционального назначения в литом и термообработанном состояниях / Ри Э.Х., Колокольцев В.М., Ри Хосен, Петроченко Е.В., Воронков Б.В. Владивосток: Дальнаука, 2006. 275 с.
3. Карбиды и сплавы на их основе / Самсонов Г.В., Косоколова Т.Я., Гнесин Г.Г., Федорус В.Б., Домасевич Л.Г. Киев: Наук. думка, 1976. 267 с.

УДК 669.162.28

**С.К. Сибатуллин, Р.Ф. Махмутов, И.А. Рамазанов**

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

### **ДЕЙСТВИЕ ПОВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ДУТЯ НА ХОД ПЛАВКИ ЧУГУНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ**

В современных условиях работы доменной печи формируются верхняя и нижняя определяющие по силовому взаимодействию потоков шихты и газа зоны [1]. От места расположения её зависит целесообразность и технологическая возможность даль-

нейшего увеличения температуры дутья с достижением повышенной экономии кокса [2–4]. Параметры дутья являются, с одной стороны, средствами оперативного управления ходом доменного процесса, с другой – средствами совершенствования его в долгосрочной перспективе, воздействуя на силовое взаимодействие потоков шихты и газа во взаимосвязи с другими процессами.

Для снижения расхода энергоресурсов важно рациональное использование нагретого дутья и приближение его температуры к максимальной величине, допустимой по ровности схода шихты, а экономии кокса на каждые 10 град нагрева – к максимальной величине.

Оценили влияние температуры дутья на работу доменной печи сравнением 16 пар периодов при использовании офлюсованных и 27 пар – неофлюсованных окатышей. Температура дутья в смежные периоды длительностью 10–90 суток отличалась более чем на 60 град. Согласно средним данным (см. таблицу) на неофлюсованных окатышах достигался больший эффект (25 кг/т по коксу и 1,7% по производительности), чем на офлюсованных (21 кг/т и 1,3% соответственно). Рост температуры дутья на 100 град с одновременным увеличением расхода природного газа на 7–8 м<sup>3</sup>/т чугуна приводил к улучшению использования тепловой и химической энергии газа.

Изменение показателей доменной плавки  
при повышении температуры дутья на 100 град

Показатели	Вид окатышей	
	офлюсованные	неофлюсованные
Интервал изменения температуры дутья, °С	900 – 1050	950 – 1100
Снижение расхода кокса сухого, кг/т чугуна	21	25
Прирост производительности, %	1,3	1,7
Увеличение расхода природного газа, м <sup>3</sup> /т чугуна	8	7
Уменьшение температуры колошникового газа, град	11	12
Увеличение степени использования монооксида углерода, %абс.	0,8	1,1
Повышение общего перепада давления газа, ат	-	0,02

При определяющем значении силового взаимодействия потоков шихты и газа в верхней части печи повышение температуры дутья превращается из средства, вызывающего затруднения в сходе шихты [3], в средство облегчения его, что обусловлено снижением динамического напора газа вверх.

Сравнили ровность хода доменной печи при работе с низкой и высокой температурой дутья, отличающейся примерно на 100 град. Характерные показания зондовых диаграмм и давления горячего дутья при этом представлены на рис. 1.

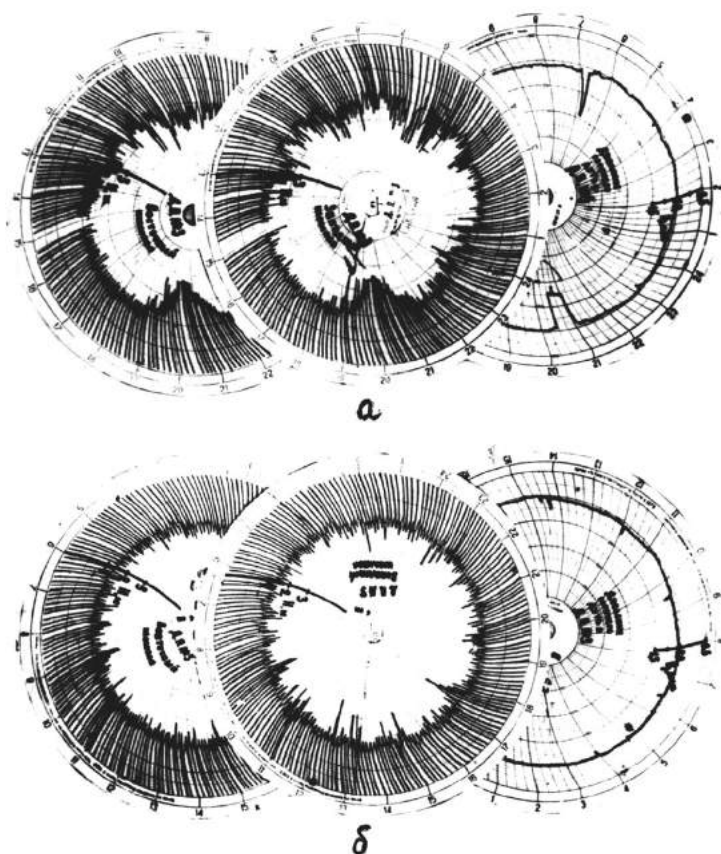


Рис. 1. Характерные диаграммы работы доменной печи с низкой (а) и высокой (б) температурой дутья

При пониженной температуре дутья шомпольные диаграммы указывали на повышенную разрыхленность шихты вверху вследствие чего наблюдались частые провалы шомполов. Часть провалов сопровождалась последующим обрывом шихты. Заметно была выражена неравномерность срабатывания подач во времени, непостоянство уровня засыпи после загрузки очередных подач. В этом периоде для предупреждения подвисаний применялось понижение давления дутья. Повышение температуры дутья во втором периоде сопровождалось значительным выравниванием хода печи. Это проявилось в сокращении количества обрывов шихты в 6 раз, в более быстром восстановлении после этого нормального уровня засыпи, в уменьшении количества и глубины провалов шомполов, в повышении равномерности срабатывания подач по времени, в снижении количества и величины резких колебаний давления дутья.

Повышенной температуре дутья соответствовал на 9% меньший динамический напор газа на колошнике, что явилось результатом снижения выхода газа на 3,4% и температуры его на 28°C. Это обеспечило ровный ход печи при повышенном на 0,08 ат общем перепаде давления газа и увеличенной на 2,6% степени уравнивания шихты газовым потоком. Обратное имело место при снижении температуры дутья – динамический напор газа на колошнике возрос, а ход печи ухудшился.

По зональным тепловым балансам рассчитали основные показатели доменного процесса при различном совместном приращении нагрева дутья и расхода природного газа. Действие на удельный расход кокса, степень прямого восстановления и степень использования газов-восстановителей представлено на рис. 2.

Разрешающая линия 1 на рис. 2 соответствует увеличению расхода природного газа с 50 до 100 м<sup>3</sup>/т чугуна с одновременным повышением температуры дутья с 1000 до 1200°C при исходной степени прямого восстановления 35% и постоянной степени использования газа. Линия 2 показывает влияние природного газа, 3 – температуры дутья на остальные показатели (расход кокса и степень прямого восстановления). Отрезок «а» (8,55%) относится к изменению степени прямого восстановления ( $r_d$ ) при увеличении расхода газа с 0 до 50 м<sup>3</sup>/т чугуна, исходной  $r_d = 45\%$  и температуре дутья 1000°C; соответствующий ему отрезок на оси ординат – снижение расхода кокса (46,5 кг) от этого.

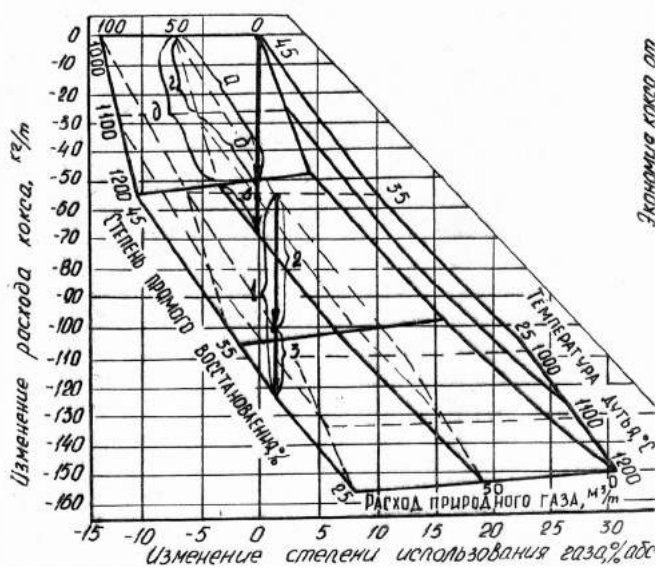


Рис. 2. Совместное влияние расхода природного газа и температуры дутья на показатели доменного процесса

Отрезок «б» (6%) отражает изменение  $g_d$  с увеличением расхода природного газа с 0 до 50 м<sup>3</sup>/т при одновременном повышении температуры дутья с 1000 до 1100°C, а отрезок «в» (3,9%) при росте последней с 1000 до 1200°C. Экономия кокса от повышения теплоотдачи газа в зоне выше 850°C (при постоянной степени прямого восстановления) определяется отрезками «г» (27 кг) и «д» (50 кг).

Рис. 2 и приведенные цифры показывают, что совместное увеличение расхода природного газа и температуры дутья сопровождается меньшим снижением степени прямого восстановления, чем при постоянном нагреве дутья. Соответственно сокращается экономия кокса от снижения  $g_d$  и увеличивается от роста теплоотдачи газа в нижней части печи.

Это положение подтвердилось по результатам анализа применения природного газа на ММК (точки I на рис. 3), комбинатах «Северсталь», (2), Криворожском (3), «Запорожсталь» (4) и «Азовсталь».

Из сопоставления этих данных с данными по влиянию комбинированного дутья на степень прямого восстановления следует, что увеличение расхода природного газа совместно с повышением температуры дутья приводит к меньшему снижению  $g_d$ , чем сов-

местно с обогащением дутья кислородом. Поэтому широкое применение комбинированного дутья без существенных сдвигов в повышении нагрева его ведет к относительно быстрому приближению к минимальной величине  $r_d$ . После достижения предела исключается возможность снижения ее другими мероприятиями.

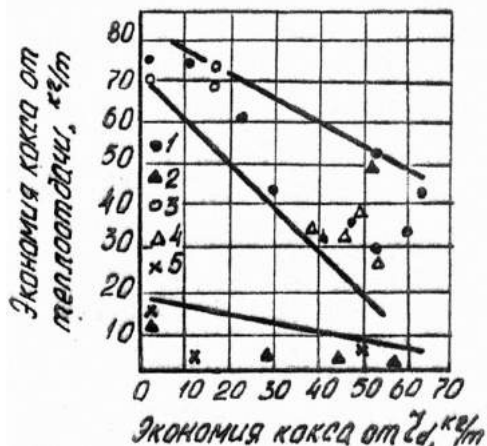


Рис. 3. Взаимосвязь между экономией кокса, полученной от увеличения теплоотдачи печных газов (при повышении температуры и снижении влажности дутья), и от уменьшения степени прямого восстановления (пояснения в тексте)

Таковыми мероприятиями, в частности, являются: применение металлизированного сырья, оптимизация шихты по крупности, усреднение материалов, повышение механической прочности, совершенствование управления печью, в том числе автоматизированного. Поэтому с точки зрения стратегического плана развития металлургии чугуна важное значение имеют работы по дальнейшему повышению нагрева дутья – это средство организации доменного процесса нужно во взаимосвязи с другими.

#### Заключение

В современных условиях увеличение температуры дутья позволяет вести доменную плавку с более высоким расходом природного газа, не только воздействуя на температурный режим в нижней части печи (теоретическую температуру горения), но и благодаря уменьшению силового взаимодействия потоков шихты и газа в верхней части её.



Дальнейшее повышение нагрева дутья, как средство организации доменного процесса, целесообразно для совместного использования с другими мероприятиями.

### Литература

1. Стефанович М.А., Сибатуллин С.К., Гуцин Д.Н. Закономерности движения шихты и газа в доменной печи. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. 161 с.
2. Сибатуллин С.К., Чевычелов А.В., Майорова Т.В. Анализ количества работы, совершаемой в доменной печи при использовании различного железорудного сырья // Изв. вузов. Чёрная металлургия. 2009. № 12. С. 7–9.
3. Использование средств организации доменного процесса / М.А.Стефанович, С.К. Сибатуллин, Г.М. Гуляев и др. // Производство чугуна: межвуз. сб. Свердловск: УПИ, 1982. С. 99–107.
4. Terentjev V.L., Mavrov A.L., Sibagatullin S.K. und an. Development of blast furnaces at Magnitogorsk iron and steel works // 3<sup>rd</sup> International Conference on Science and Technology of Ironmaking and 3<sup>rd</sup> European Rolling Conference. Düsseldorf, Germany. 2003. S. 331–333.

УДК 621.74

**А.И. Мезенцева, А.А. Ганеев**

Уфимский государственный авиационный  
технический университет

**Е.Ф. Шайхутдинова**

Казанский национальный исследовательский  
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ЖАРОПРОЧНОСТЬ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В АВИАСТРОЕНИИ**

В настоящее время использование алюминиевых поршневых сплавов обусловлено преимуществами данных сплавов по сравнению с другими. Например, алюминиевые поршневые сплавы примерно в 2,6 раза легче чугуна, обладают в 3–4 раза боль-

шей теплопроводностью и хорошими антифрикционными свойствами. Благодаря этому вес изготовленных из алюминиевых поршневых сплавов поршней, как минимум, на 30% легче чугунных, хотя стенки поршней по соображениям прочности толще. Также эксплуатационные характеристики алюминиевых поршней обеспечивают увеличение мощностных и экономических показателей двигателей.

Однако в настоящее время основными недостатками алюминиевых поршневых сплавов являются большой коэффициент линейного расширения, значительное уменьшение механической прочности при нагреве (нагрев до температуры 300°C снижает их прочность на 50—55%) и сравнительно малая износостойкость.

Таким образом, развитие двигателей нового поколения зависит от создания новых алюминиевых жаропрочных поршневых сплавов, применение которых улучшит эксплуатационные и технологические свойства поршневых двигателей. На основании этого на первый план выходит проблема разработки сплавов с заданными свойствами, которая может быть решена только на основе сочетания методов классического металловедения, физики металлов, математических методов анализа и синтеза [3].

В работах [4, 5] рассмотрены подходы к проектированию с помощью концепции синтеза сплавов, которая включает два основных направления – активное планирование эксперимента и использование данных пассивного эксперимента. Достоинством данных подходов проектирования сплавов является использование достижений информатики и вычислительной техники, а также методов пассивного эксперимента, которые позволяют сократить срок проектирования и уменьшить материальные затраты.

Для проектирования жаропрочных алюминиевых сплавов на основе концепции синтеза сплавов были решены следующие задачи:

1. Разработана база данных, содержащая информацию о составах, механических и жаропрочных свойствах литейных алюминиевых поршневых сплавов, и информационно-поисковая система к базе данных [6]. Разработка базы данных производилась на основе собранного на естественном языке банка данных по отечественным и зарубежным жаропрочным сплавам по июнь 2013 г. Разработанная база данных учитывает специфику материалов, применяемых в машиностроении. Реализация базы данных необходима для проведения статистических исследований с целью построения математической модели сплава.

2. Разработан метод восстановления недостающей информации в базе данных о свойствах литейных алюминиевых поршневых сплавов.

3. Определение диапазонов концентраций легирующих элементов, обеспечивающих максимум жаропрочности литейных алюминиевых поршневых сплавов на основе обобщения статистической информации из базы данных.

Таким образом, для построения математических моделей влияния составов литейных алюминиевых поршневых сплавов на их жаропрочность и для программной реализации алгоритмов расчета с использованием метода искусственных нейронных сетей необходима оценка влияния легирующих элементов и примесей на жаропрочность сплава. Это связано с тем, что задача проектирования жаропрочных сплавов сводится к нахождению оптимального состава сплава по максимуму функции жаропрочности для рабочих температур с учетом ограничений на концентрации элементов, составляющих сплав.

Все легирующие элементы, входящие в состав литейных алюминиевых сплавов, можно разделить на три группы: основные легирующие элементы, малые добавки и примеси (см. таблицу). Одни и те же элементы могут относиться к разным группам в зависимости от сплава, а также в зависимости от соотношения между элементами могут образовываться различные фазы [7–9].

Классификация легирующих элементов и примесей  
по их влиянию на фазовый состав и структуру  
в промышленных алюминиевых сплавах

<b>Элементы структуры</b>	<b>Легирующие элементы и примеси</b>
Твердорастворное легирование (Al) и образование фаз – упрочнителей	Cu, Mg, Si, Zn, Li, Mn
Образование нерастворимых (при отжиге) эвтектических фаз	Fe, Ni, Mn, Mg, Si, Cu, Be
Образование первичных кристаллов	Fe, Ni, Mn, Si, Zr, Cr, Ti
Образование дисперсоидов при отжиге	Mn, Zr, Cr, Ti, Sc, (Si, Cu)
Микродобавки, мало влияющие на фазовый состав	Be, Cd, Sr, Na, Ti, B

Основными легирующими элементами в промышленных алюминиевых сплавах являются кремний, магний, медь, цинк, реже марганец, железо и никель. В сплавах специального назначе-

ния (1420, 1440, 1450 и др.) основным легирующим компонентом является литий. Все перечисленные элементы обладают ограниченной растворимостью в алюминии в твердом состоянии. И структура многокомпонентных алюминиевых сплавов содержит сложные эвтектики. Количество эвтектики определяет литейные свойства алюминиевых сплавов. С повышением температуры плавления эвтектики ее вклад в жаропрочность сплава увеличивается. Ввиду того, что эвтектика кристаллизуется в последнюю очередь, она окружает зерна первичного твердого раствора, образуя между ними эвтектические прослойки.

Таким образом, анализ собранной базы данных по алюминиевым сплавам, а также работ [7 – 9] показал, что в качестве основных легирующих элементов в подавляющем большинстве промышленных алюминиевых сплавов используют всего четыре металла — магний, медь, цинк и полупроводник кремний, что объясняется их значительной растворимостью в алюминии в твердом состоянии, и они определяют главные особенности структуры и свойств сплавов [8, 9]. Все остальные легирующие элементы растворяются в алюминии в меньших количествах (десятые — тысячные доли ат. %).

Содержание основных элементов согласно собранной базе данных колеблется в следующих пределах: магний — 0,2–13%; медь — от 0,003 до 48%; цинк — 0,0001–8%; кремний — 0,01–25%. Содержание марганца колеблется от 0,003 до 2%. Марганец является универсальной малой добавкой. Основная цель его введения — дополнительное упрочнение сплавов. Титан, цирконий, хром и ванадий тоже относятся к универсальным малым добавкам.

Железо и никель, содержание которых колеблется от 0,06 до 2,8%, а также церий (0,04–0,5%) образуют эвтектику со стороны алюминия, вызывают образование избыточных фаз кристаллизационного происхождения, которые снижают пластичность и коррозионную стойкость. В нашем случае определяющим свойством сплавов является жаропрочность, то есть их введение необходимо и обосновано, так как алюминиды никеля, железа и церия являются тугоплавкими.

Особое действие оказывает добавка бериллия, который содержится в алюминиевых сплавах в пределах от 0,0001 до 0,4%. Ввод бериллия способствует увеличению антикоррозийных свойств, а также в значительной мере может нейтрализовать вредное влияние примеси железа на пластичность и вязкость разрушения.

Наиболее эффективными малыми добавками, способными существенно повысить прочностные свойства алюминиевых сплавов (в первую очередь на базе систем Al–Cu, Al–Si–Cu–Mg) за счет влияния на процесс старения, являются кадмий и серебро [7, 8]. Содержание кадмия в сплавах от 0,005 до 0,07% приводит к изменению фазового состава продуктов старения и их диспергированию, повышая прочностные свойства сплавов системы Al–Cu после закалки и старения.

В последние годы в качестве добавки упрочнителя алюминиевых сплавов различных систем, в первую очередь магналиев, стал использоваться скандий. Скандий, несмотря на малое количество (0,003–0,5%), более корректно считать основным легирующим элементом, так как он может вносить очень значительный вклад в упрочнение, соизмеримый с вкладом, например, нескольких процентов магния. Среди других малых добавок следует отметить натрий, стронций, ванадий, титан, хром, бор и т.п.

На основании вышесказанного, для построения зависимости величины жаропрочности от концентраций легирующих элементов использованы методы регрессионного анализа.

Факторы, влияющие на жаропрочность сплава, рассмотрены как случайные величины, поскольку вероятность того, что жаропрочность соответствует заданной комбинации факторов, составляет  $10^{-58}$ – $10^{-60}$ .

В общем случае, мы не можем судить о том, какой вид должно иметь уравнение регрессии. Поэтому решено было использовать метод всех возможных регрессий, заключающийся в полном переборе наиболее применимых к описанию природных и техногенных процессов классов уравнений. В нашей работе использовался перебор следующих классов математических зависимостей:

- полиномиальные функции вида

$$z(x_1, x_2) = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=0}^m \beta_{ij} \cdot x_i^k \cdot \ln^l(x_i), \quad (1)$$

где  $k, l$  – позиция сплава в базе данных, в исследуемой выборке из базы данных,  $k, l = -5, \dots, 5$ ;

- рациональные функции вида

$$z(x_1, x_2) = \frac{z_1(x_1, x_2)}{z_2(x_1, x_2)}, \quad (2)$$

где  $z_1, z_2$  – полиномиальные функции;

– нелинейные гауссовы функции и т.д.

Общее число функций, выбранных для рассмотрения, составило порядка 64 000. Для проведения регрессионного анализа использовался пакет MS Office Excel, а также в данном пакете строили графики зависимости для аналитического сравнения обработанных результатов в другом пакете анализа.

Аналогичные графики влияния легирующих элементов на жаропрочность алюминиевых сплавов были построены для других элементов: Si, Zn, Cr, Be и т.д.

Использование различных программных пакетов для обработки статистических данных по свойствам сплавов для оценки влияния легирующих элементов на жаропрочность позволило исключить влияние на полученные результаты систематической ошибки того или иного метода и повысить их достоверность.

На основании предложенной методики математического моделирования по его результатам были построены специальные диаграммы зависимости жаропрочности при исследуемых температурах от электронной плотности сплава и концентраций легирующих элементов. После проведения ранжирования уравнения регрессии оказалось, что для большинства легирующих элементов наиболее адекватными являются уравнения, принадлежащие к подмножеству нелинейных гауссовых функций.

После нахождения математической модели влияния концентраций легирующих элементов на жаропрочность сплавов на основании информации из массива исходных данных с помощью достижений информатики и техники (нейросетевые технологии, программы моделирования и прогнозирования) определяем состав, которому отвечает максимальное прогнозируемое значение жаропрочности, что осуществляется с помощью метода поиска максимума эмпирической функции, определяемой найденной моделью.

## Литература

1. Белецкий В.М., Кривов Г.А. Алюминиевые сплавы (Состав, свойства, технология, применение): справочник / под общ. ред. акад. РАН И.Н. Фридляндера. К.: КОМИНТЕХ, 2005. 365 с.
2. Золоторевский В.С. Структура и прочность литых алюминиевых сплавов. М.: Металлургия, 1981. 192 с.
3. Теоретические основы автоматизированного проектирования литейных жаропрочных никелевых сплавов / Ганеев А.А., Шай-

- хутдинова Е.Ф., Кулаков Б.А., Мезенцева А.И. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Metallургия. 2012. № 15 (274). С. 41–45.
4. Автоматизированная система построения математической модели для синтеза литейных жаропрочных сплавов / А.А. Ганеев, Д.В. Попов, П.В. Аликин, П.Н. Никифоров // Литейщик России. №6. 2009. С. 22–24.
  5. Математическое моделирование влияния легирующих элементов на жаропрочность никелевых сплавов с монокристаллической структурой / Ганеев А.А., Нургаянова О.С., Павлинич С.П. // Вестник УГАТУ. 2006. №1 (17). Т. 8. С. 91–96.
  6. Ганеев А.А., Мезенцева А.И. Разработка структуры базы данных по алюминиевым жаропрочным сплавам // Литейные процессы: межрегион. сб. науч. трудов. Вып. 5. Магнитогорск: МГТУ, 2005. С. 165–169.
  7. Белов Н.А. Фазовый состав алюминиевых сплавов: монография. М.: МИСиС, 2009. 235 с.
  8. Золоторевский В.С., Белов А.Н. Metalловедение литейных алюминиевых сплавов. М.: МИСиС, 2005. 376 с.
  9. Колобнев И.Ф. Жаропрочность литейных алюминиевых сплавов. М.: Metallургия, 1973. 320 с.

УДК 669.018.25:621.74.011

**К.Н. Вдовин, А.В. Маркевич**

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ЧУГУНА В СОЛЯНОЙ КИСЛОТЕ**

Более 10% ежегодной мировой добычи металла безвозвратно утрачивается в виде коррозии, что равнозначно бесполезной работе крупного металлургического комбината. Особенно заметны потери металла в агрегатах непрерывного травления, где применяется соляная кислота. Помимо повышенной температуры ее, в ней присутствуют твердые абразивные частички, что еще больше усугубляет износ металла, находящегося в травильной ванне [1].

Выявив взаимосвязи химического состава и структуры коррозионно-стойкого чугуна, легированного медью и висмутом, полу-

чили весовые коэффициенты влияния основных легирующих элементов на их свойства. Проведя нейромоделирование, сделали оптимизацию состава чугуна и определили оптимальное соотношение элементов, дающих максимальную коррозионную стойкость.

Химический состав такого чугуна, мас. %: С (1,8–2,2); Cr (20–22); Mo (1,0–2,0); Ti (0,5–1,5); Cu (0,5–1,0); Вi (0,14–0,16). Количество кремния, марганца и азота поддерживали на постоянном уровне соответственно, %: 0,4–0,8; 0,3–0,9 и 0,05–0,09.

Структуру металла исследовали как в литом состоянии, так и после термической обработки. Свойства экспериментальных сплавов представлены в таблице.

№ п/п	Свойства								
	ПГФ сухая			ПГФ сырая			Кокиль		
	Ки, ед.	Ккор, г/(м <sup>2</sup> ч)	П, мм/год	Ки, ед.	Ккор, г/(м <sup>2</sup> ч)	П, мм/год	Ки, ед.	Ккор, г/(м <sup>2</sup> ч)	П, мм/год
1	2,8	4,6	5,4	3,2	4,5	5,3	2,9	2,9	3,7
2	2,5	5,2	5,9	2,8	3,4	4,2	2,8	3,2	4,0
3	3,0	5,0	5,7	3,5	4,0	4,8	3,0	3,1	3,9
4	2,5	6,1	6,9	3,2	3,5	4,3	2,9	3,5	4,3
5	2,6	5,6	6,2	2,9	4,6	5,4	2,5	3,9	4,7
6	2,4	5,9	6,6	2,8	4,9	5,7	2,6	4,2	4,9
7	2,4	4,9	5,6	2,9	3,2	4,0	2,4	3,1	3,9
8	2,3	5,5	6,1	2,7	4,5	5,3	2,3	3,6	4,4

Проведя испытания на коррозионную стойкость чугунов двумя методами: весовым и ускоренным, установили, что новый чугун стоек в растворах соляной кислоты различной концентрации (10, 20, 38%).

Микроструктуры полученных чугунов (x500) приведены на рис. 1–3.



Рис. 1. Микроструктура нового чугуна, залитого в сухую ПГФ



В этом чугуने содержание химических элементов соответствует заданному уровню, а количество модификатора  $1,5/0,6 = \text{Cu}/\text{Bi}$ .



Рис. 2. Микроструктура нового чугуна, залитого в сырую ПГФ

В этом чугуне содержание химических элементов соответствует заданному уровню, а количество модификатора  $1,0/0,4 = \text{Cu}/\text{Bi}$ .



Рис. 3. Микроструктура нового чугуна, залитого в кокиль

В этом чугуне содержание химических элементов соответствует среднему заданному уровню, а количество модификатора  $1,5/0,6 = \text{Cu}/\text{Bi}$ .

В результате исследований свойств нового чугуна установили, что медь в пределах  $0,8-1,2\%$  повышает термодинамическую активность углерода, уменьшает растворимость карбидов молибдена в расплаве и аустените и снижает критическое содержание молибдена в чугуне. Механизм положительного влияния меди на устойчивость сплавов к коррозии, по современным данным, объясняется вторичным выделением меди на поверхности отливок. Медь в стали и чугуне находится в виде твердого раствора, но благодаря своему положительному электрохимическому потенциалу после перехода в корродирующий раствор в виде ионов может вновь вторично выделяться в виде элементарной меди на поверхности сплава и пассивировать анодные участки [2].

Кроме того, медь способствует повышению твердости и износостойкости чугуна, образуя глобулы желтовато-красной высо-

комедистой фазы, впитывающий в себя все содержание фосфора, и покрывает поверхность трения в виде медно-фосфатной пленки, тем самым снижая коэффициент трения. Микротвердость легированного медью перлита составила 600–700 HV и выше.

Растворимость висмута в жидком железе ограничена, опытным путем было установлено, что при определенной температуре он усваивается по-разному. Провели плавки чугуна при температурах 1250, 1300 и 1380<sup>0</sup>С с содержанием висмута соответственно 0,144, 0,157, 0,171 мас. %. Установили, что с повышением температуры висмут увеличивает свою растворимость в чугуне, причем в заданном интервале температур достаточно пропорционально.

Висмут измельчает зерно чугуна, повышает его свойства, а при повышенных добавках образует легкоплавкую эвтектику по границам зерен, что может резко снизить свойства чугуна. В предложенном чугуне существенное измельчение структуры достигли за счет совмещения двух видов модифицирования: образования в расплаве чугуна дополнительных центров кристаллизации и ограничения роста кристаллов.

Сравнив коррозионную стойкость нового чугуна с двумя существующими (ЧС17М3 и запатентованного, пат. № 1713966 РФ), установили, что у чугуна ЧС17М3 она выше, чем у предложенного (0,8 г/(м<sup>2</sup>ч)), но износостойкость в 2,3 раза ниже. Прочность ЧС17М3 всего 55 МПа. У запатентованного чугуна все характеристики хуже, чем у разработанного нового.

Фазовый состав нового чугуна: феррит 25,90, аустенит 30,77, карбиды хрома 43,33%. Это обеспечивает ему хорошую коррозионную стойкость.

Для исследованного чугуна провели термическую обработку для изменения структуры, снятия внутренних напряжений и улучшения прочностных свойств. Для этого применили нормализацию (850<sup>0</sup>С) и низкий отпуск (280<sup>0</sup>С).

Структура чугуна после термической обработки стала более равномерной, мелкозернистой и в основном представлена аустенитом. Коррозионная стойкость увеличилась с 4,6–5,3 до 2,03–3,32 г/(м<sup>2</sup>ч). Кроме того, наблюдали повышение твердости образцов в среднем на восемь единиц.

Таким образом, применение меди совместно с висмутом для модифицирования чугуна позволило получить хороший коррозионно-стойкий чугун со свойствами выше, чем у используемого в промышленности ЧС17М3 по ГОСТ 7769-82.

---

---

## Литература

1. Вдовин К.Н., Маркевич А.В. Выбор легирующего комплекса для кислотостойких чугунов // Литейные процессы: межрегион. сб. науч. тр. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. Вып. 8. С. 15–18.
2. Вдовин К.Н., Маркевич А.В. Повышение эксплуатационных свойств отливок из коррозионно-стойкого чугуна // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. №1. С.31–33.

УДК 669.162.267

**А.Н. Шаповалов**

Новотроицкий филиал НИТУ «МИСиС»

**Л.Б. Долгополова**

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

### **КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛА**

Сталь является важнейшим конструкционным материалом для машиностроения, транспорта, строительства и прочих отраслей народного хозяйства. В последние 15–20 лет требования новых отраслей техники к качеству стали многих марок резко возросли и продолжают возрастать. Поэтому одной из наиболее актуальных задач, стоящих перед металлургами, является получение конкурентоспособной продукции высокого качества, удовлетворяющего потребностям рынка.

Конкурентоспособность металлопродукции при сопоставимых показателях ее качества определяется суммарными издержками на производство. Последние напрямую зависят от технических и технологических возможностей производства.

ОАО «Уральская Сталь» производит прокат из высококачественных низкоуглеродистых низколегированных сталей по технологической цепочке, включающей выплавку чугуна в доменных печах, получение стального полупродукта в электродуговых печах емкостью 120т (ДСП) из чугуна и лома, ковшовую обработку стали

на установке «ковш-печь» (УКП) и вакууматоре, непрерывную разливку и прокатку.

Имеющиеся в электросталеплавильном цехе (ЭСЦ) ОАО «Уральская Сталь» технологические возможности позволяют выплавлять металл, удовлетворяющий самым высоким требованиям. При этом, затраты на производство увеличиваются пропорционально росту требований к качеству стали по содержанию в ней серы и фосфора. В шихтовых условиях ОАО «Уральская Сталь» при содержании фосфора в чугуне 0,05–0,07%, заданное содержание его в стали (менее 0,010%) обеспечивается на стадии основной электродуговой плавки за счет наведения основного окислительного шлака. Поэтому главной задачей выплавки высококачественных сталей является обеспечение требуемого содержания серы.

Как известно, удаление серы из металла сопряжено с дополнительными технологическими трудностями и затратами на всех этапах металлургического передела [1–9]: десульфурация в доменной печи связана с повышенными расходами кокса и флюса, что ухудшает технико-экономические показатели плавки, а в сталеплавильных агрегатах удаление серы вызывает увеличение продолжительности плавки, расходов энергии и различных материалов, что значительно повышает себестоимость готовой стали. Так, в условиях ОАО «Уральская Сталь», несмотря на относительно невысокий уровень содержания серы в передельном чугуне (менее 0,020%), задача достижения требуемого содержания серы в стали решается в три стадии: в ДСП, в ковше на выпуске и при обработке на УКП. Причем, учитывая низкие показатели по десульфурации стали в ДСП и на выпуске, основная нагрузка по удалению серы приходится на УКП [9, 10].

Поэтому при разработке сквозной технологии выплавки стали заданного качества необходимо оптимизировать суммарные затраты на удаление серы на всех этапах металлургического передела, то есть подходить к этой проблеме комплексно, решая ее совокупно на всех переделах с учетом их технологических возможностей и экономической целесообразности.

Для решения поставленной задачи были разработаны методики расчета показателей работы основных агрегатов, участвующих в производственном цикле выплавки стали в условиях ОАО «Уральская Сталь». В основу указанных методик положены материальные и тепловые балансы процессов, а также статистические закономерности поведения серы на всех этапах металлургического

передела, полученные на основе обработки производственных данных за период с 2008 по 2012 гг. [8–10].

В соответствии с разработанным математическим описанием в среде электронных таблиц Excel была составлена программа расчета затрат на десульфурацию в аглодоменном переделе, а также показателей работы ДСП и УКП в зависимости от качества исходной шихты по содержанию серы. Расчеты проводили для стали 09Г2С с конечным содержанием серы 0,005% в сравнении с усредненными показателями производства за 2011 год, в течение которого использовался чугун с содержанием серы 0,012–0,020%.

Результаты расчета себестоимости чугуна при различной степени десульфурации его в печи приведены на рис. 1.

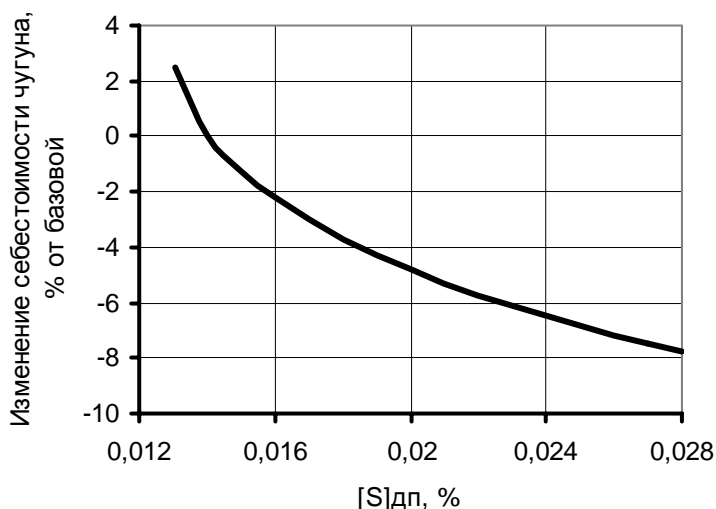


Рис. 1. Влияние содержания серы в выпускаемом чугуне ( $[S]_{дп}$ ) на себестоимость его производства в условиях доменной печи №4 ( $V_{п} = 2002 \text{ м}^3$ ) ОАО «Уральская Сталь»

Представленные на рис. 1 результаты расчета показывают, что с повышением требований к качеству чугуна затраты на его производство существенно возрастают, что связано с необходимостью повышения основности шлака и, как следствие, более высоким расходом кокса и снижением производительности.

Результаты расчета затрат на выплавку стали в ДСП и при обработке на УКП в зависимости от содержания серы в чугуне и требуемого содержания серы в стали приведены на рис. 2 и 3.

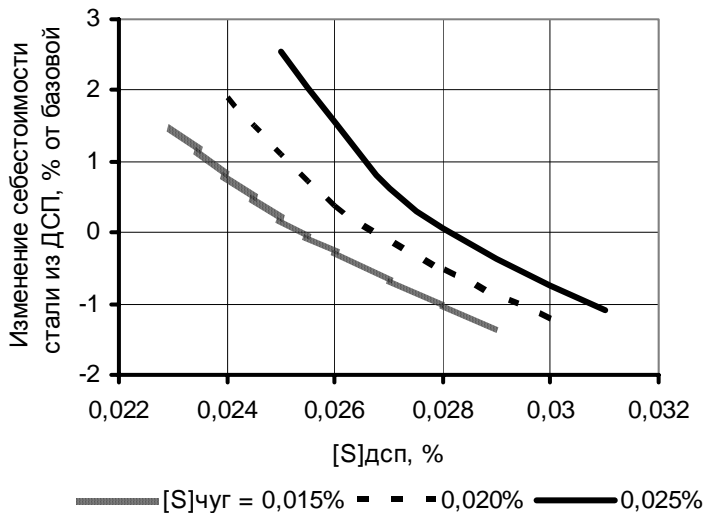


Рис. 2. Изменение себестоимости стали из ДСП (% от базового уровня) в зависимости от содержания серы на выпуске ( $[S]_{\text{дсп}}$ ) и исходного качества чугуна ( $[S]_{\text{чуг}}$ )

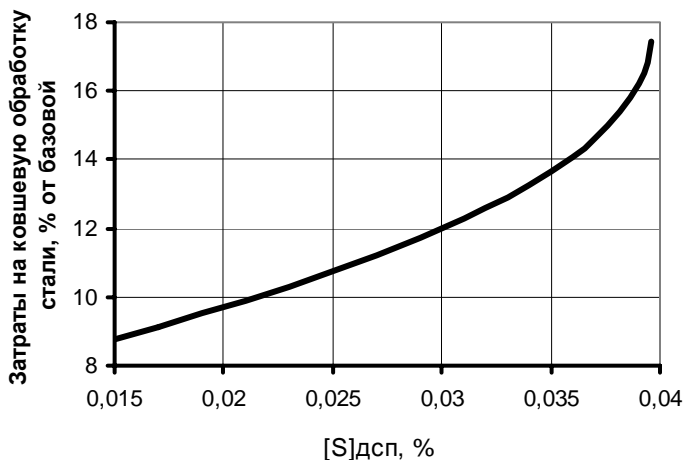


Рис. 3. Затраты на удаление серы до уровня 0,005% при обработке на УКП в зависимости от содержания серы в ковше из ДСП ( $[S]_{\text{дсп}}$ )

Таким образом, удаление стали в ДСП ведет к значительному росту затрат по переделу, причем тем в большей степени, чем выше исходное содержание серы в чугуна (рис. 2). Аналогичная зависимость затрат от качества исходного металла прослеживается и при ковшовой обработке стали (рис. 3).

При этом, из теории ковшовой обработки известно, что при удалении серы из чугуна создаются существенно лучшие условия по сравнению с условиями десульфурации стали [11, 12]. Резонно предположить, что включение в технологическую цепочку выплавки стали процесса внедоменной десульфурации чугуна позволит снизить затраты по доменному переделу и облегчит трудоемкость обработки стали на У КП, что обеспечит снижение суммарных издержек при производстве стали заданного качества.

Поскольку в ОАО «Уральская Сталь» отсутствуют технические возможности для внедоменной обработки чугуна, то при определении затрат на обработку чугуна исходили из литературных данных и зависимостей [8, 13–16]. В расчете стоимости внедоменной десульфурации чугуна определялись суммарные затраты на реагент, по переделу, а также учитывались потери чугуна с дополнительно образующимся шлаком и снижение температуры чугуна при обработке (учитывались в расчете показателей работы ДСП). В качестве реагентов для десульфурации в расчете принимали гранулированный магний и карбид кальция, обеспечивающие снижение содержания серы в чугуна до 0,002–0,005%. Результаты расчета затрат на десульфурацию чугуна (от 0,020% до заданного содержания серы) представлены на рис. 4.

Таким образом, при удалении серы из чугуна от 0,016% и менее оптимальным вариантом десульфурации является обработка чугуна гранулированным магнием, вдуваемым в токе воздуха. Применение карбида кальция имеет более высокую сравнительную эффективность только при удалении серы до 0,016% (от базового уровня в 0,020%), однако такой режим внедоменной десульфурации неэффективен из-за больших условно-постоянных расходов по переделу.

По разработанной математической модели и программам расчета показателей аглодоменного и электросталеплавильного переделов проведена оптимизация сквозной технологии выплавки стали с содержанием серы 0,005% по двум вариантам технологии: существующая технологическая схема и с включением в нее внедоменной обработки чугуна гранулированным магнием.

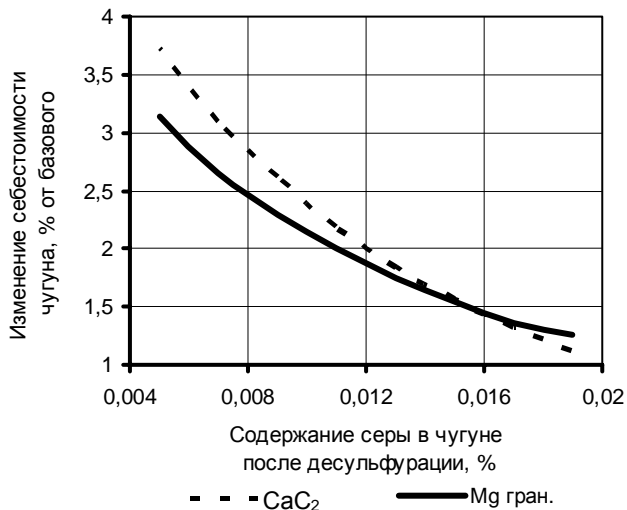


Рис. 4. Изменение себестоимости чугуна (% от базового уровня) в зависимости от глубины десульфурации

Параметры существующего и рациональных технологических режимов выплавки стали с содержанием серы 0,005% в условиях ОАО «Уральская Сталь» представлены в таблице.

Параметры технологического режима выплавки стали с содержанием серы 0,005% при различном качестве чугуна

Параметр	Вариант технологии выплавки стали с [S] = 0,005%		
	Базовый	Оптимизированный	
		без десульфурации чугуна	с десульфурацией чугуна
<i>Показатели доменной плавки (на примере ДП-4)</i>			
[S] <sub>дсп</sub> , %	0,014	0,017	0,024
Требуемая основность шлака CaO/SiO <sub>2</sub>	1,06	1,02	0,97
Коэффициент распределения серы в ДП $L_s = (S)/(S)$ , ед.	43,6	35,9	25,4
Себестоимость чугуна (С <sub>бчуг</sub> ), % от базовой	100,0	97,8	95,5



Окончание таблицы			
Параметр	Вариант технологии выплавки стали с [S] = 0,005%		
	Базовый	Оптимизированный	
		Без десульф. чугуна	С десульф. чугуна
<i>Внепечная десульфурация чугуна гранулированным магнием</i>			
[S]чуг после обработки, %	0,014	0,017	0,009
Расход Mg гран., кг/т	-	-	0,61
Степень десульфурации, %	-	-	62,5
Затраты на обработку, % от себестоимости чугуна	-	-	3,1
Себестоимость чугуна (Сб <sub>чуг</sub> ), % от базовой	100,0	97,8	98,5
<i>Показатели плавки в ДСП (V = 120 т)</i>			
Доля чугуна, % / [S]чуг, %	34 / 0,014	34 / 0,017	34 / 0,009
[S] в расплаве, %	0,0285	0,0295	0,0268
[S] <sub>дсп</sub> , %	0,0255	0,0269	0,0242
Основность шлака CaO/SiO <sub>2</sub>	2,5	2,2	2,2
Степень десульфурации, %	10,7	8,9	9,7
Себестоимость металла из ДСП (Сб <sub>дсп</sub> ), руб./т	100	97,9	98,1
<i>Десульфурация на выпуске</i>			
[S]в ковше после выпуска, %	0,0224	0,0236	0,0212
<i>Показатели работы У КП</i>			
[S] исх, %	0,0224	0,0236	0,0212
[S] треб, %	0,005		
Степень десульфурации, %	77,68	78,82	76,46
Основность шлака CaO/SiO <sub>2</sub>	2,66	2,74	2,57
Себестоимость обработки на У КП, % от Сб <sub>дсп</sub>	9,77	10,60	9,62
Себестоимость стали (Сб <sub>ст</sub> ), % от базовой	100	98,80	97,90

Таким образом, оптимизация суммарных издержек на выплавку стали с заданным содержанием серы по различным вариантам технологии позволяет определить рациональное, с экономической и технологической точек зрения, распределение работы по десульфурации металла (см. таблицу). В условиях 2011 года минимальные издержки на производство стали с содержанием се-

ры 0,005% по существующей технологии обеспечиваются при десульфурации чугуна в доменной печи до уровня серы в 0,017% и перераспределении оставшейся работы по удалению серы из ДСП на УКП. При этом, суммарные издержки сокращаются на 1,2% по сравнению с действующей технологией. Включение в технологическую цепочку агрегата по внедоменной десульфурации чугуна обеспечивает минимизацию суммарных издержек при выплавке чугуна с содержанием серы 0,024% и последующем удалении из него серы до содержания 0,009% гранулированным магнием (см. таблицу). Такой вариант технологии обеспечивает снижение суммарных издержек на 2,1% по сравнению с действующей технологией.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, удаление серы из металла необходимо осуществлять на всех этапах металлургического передела, с учетом их технологических возможностей и экономической целесообразности.

Комплексный подход к решению задачи выплавки стали заданного качества позволяет оптимизировать сквозную технологию по всему металлургическому переделу, обеспечивая минимизацию суммарных издержек. Разработанные варианты сквозной технологии выплавки стали с содержанием серы 0,005% позволяют снизить себестоимость стали в условиях ОАО «Уральская Сталь» на 1,2–2,1% по сравнению с базовыми показателями.

### **Литература**

1. Серов Ю.В., Михалевич А.Г. Оценка эффективности повышения качества передеального чугуна в соответствии с требованиями сталеплавильного производства // *Металлург.* 1982. №2. С.9–12.
2. Старов Р.В., Емельянов И.Я., Адаменко Л.П. Технико-экономическая эффективность применения обессеренного чугуна при выплавке стали в 350-тонных конвертерах // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* 1982. №3. С.12–14.
3. Повышение качества чугуна – одна из основных задач производства качественной стали / Антипов И.С., Мещеряков А.А., Невмержицкий Е.В. и др. // *Сталь.* 1988. №7. С.7–12.
4. Шаповалов А.Н., Кропотов В.К. Оптимальное содержание серы в чугуне для внедоменного обессеривания // *Металлург.* 1997. №12. С.14.

5. Шаповалов А.Н., Кропотов В.К., Дружков В.Г. Рациональная степень десульфурации чугуна в доменной печи с учетом последующей внеагрегатной обработки // Теория и технология металлургического производства. Вып.1. Магнитогорск: МГТУ, 2001. С.10–15.
6. Шаповалов А.Н., Сайтова О.Ф. Прогнозирование результатов десульфурации стали в условиях электросталеплавильного цеха ОАО «Уральская Сталь» (ОХМК) на примере стали 09ГСФ // Наука и производство Урала: межрегион. сб. науч. трудов. Вып.1. Новотроицк: НФ МИСиС, 2005. С. 126–131.
7. Шаповалов А.Н., Залозная Л.А. Получение высококачественного агломерата в условиях агломерационного цеха ОАО «Уральская Сталь» (ОХМК) // Наука и производство Урала: межрегион. сб. науч. трудов. Вып.2. Новотроицк: НФ МИСиС, 2006. С. 31–34.
8. Шаповалов А.Н., Дружков В.Г. Повышение эффективности десульфурации чугуна. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. 148 с.
9. Шаповалов А.Н. Разработка сквозной технологии производства стали заданного качества в условиях ОАО «Уральская Сталь». // Металлург. 2012. №2. С.41–43.
10. Шаповалов А.Н. Эффективность десульфурации чугуна при производстве высококачественной стали в условиях ОАО «Уральская Сталь» // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2013. №1. С.34–37.
11. Внедоменная десульфурация чугуна / Красавцев Н.И., Корнеев Ю.А., Мачикин В.И., Красавцев И.Н. Киев: Техника, 1975. 120 с.
12. Внепечное рафинирование чугуна и стали / Борнацкий И.И., Мачикин В.И., Живченко В.С. и др. Киев: Техника, 1979. 168 с.
13. Никулин А.Ю. Математическое моделирование кинетики растворения реагентов при внепечной обработке черных металлов: дис. ... д-ра техн. наук. Магнитогорск: МГМА, 1997. 340 с.
14. К математической модели внепечной десульфурации чугуна / Ганчев А.В., Гонсалес О., Чижикова В.М. и др. // Изв. вузов. Черная металлургия. 1992. №7. С.16–19.
15. Шаповалов А.Н., Кропотов В.К., Дружков В.Г. Минимизация затрат на обессеривание передельного чугуна в доменной печи и вне ее // Сборник трудов 60-й научно-технической конференции МГТУ-ММК «Наука и производство». Магнитогорск: МГТУ, 2001. С.30–37.
16. Шаповалов А.Н., Залозная Л.А. Разработка рациональной технологии получения чугуна с содержанием серы 0,010% в условиях доменного цеха ОАО «Уральская Сталь» (ОХМК) // Наука и производство Урала: межрегион. сб. науч. трудов. Вып.1. Новотроицк: НФ МИСиС, 2005. С. 119–126.

---

---

УДК 621.74

**А.А. Гулаков, И.Х. Тухватулин**

ЗАО «Кушвинский завод прокатных валков»

**Л.Б. Долгополова**

Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

## **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СОРТОПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА\***

Одной из актуальных задач предприятий, производящих прокатные валки, является повышение износостойкости и надежности прокатных валков с целью увеличения наката и исключения поломок валков.

Повысить износостойкость чугуновых сортопрокатных валков можно за счет увеличения твердости бочки. В этом направлении существуют два варианта:

- 1) увеличение количества карбидов в структуре;
- 2) улучшение микроструктуры металлической матрицы.

Для осуществления первого варианта необходимо увеличение содержания карбидообразующих элементов, однако чрезмерное содержание их приводит к повышению хрупкости металла и возрастанию риска поломок валков при эксплуатации в станах. Особенно опасно повышенное содержание карбидов в сердцевине валка – в этом случае развитие хрупкой трещины носит катастрофический характер, что приводит к быстрому разрушению валка (рис. 1). Поэтому такой путь повышения твердости неприемлем для сортопрокатных валков.

Второй вариант заключается в обеспечении необходимой микроструктуры металлической матрицы. В основном применяют валки из чугуна с перлитной и бейнитной матрицей.

Для повышения твердости перлитных валков необходимо обеспечить получение тонкопластинчатого перлита при отсутствии ферритных участков в микроструктуре в сочетании с наличием свободных карбидов до определенного количества (рис. 2, а, б). Это достигается комплексом технологических параметров: подбором шихтовых материалов, легированием чугуна никелем и молибденом, управлением свойствами расплава с использованием термо-

---

\* Работа выполнена под руководством Р. Х. Гималетдинова.

графического анализа, технологией модифицирования чугуна и заливки валков. Твердость перлитных валков достигает 60 HSc.



Рис. 1. Хрупкое разрушение сортопрокатного валка

Для обеспечения твердости бейнитных валков количество карбидной составляющей в структуре имеет минимальное значение. Главную роль играет бейнитная матрица, которая может состоять только из верхнего либо нижнего бейнита, или из обеих структурных составляющих (рис. 3). В зависимости от состава матрицы меняется твердость: верхний бейнит обладает меньшей твердостью, нижний – большей. Твердость бейнитных валков составляет 60–70 HSc. Принципы управления микроструктурой бейнитных валков аналогичны принципам, применяемым к перлитным валкам, но обязательным условием бейнитного превращения структуры является повышенное содержание никеля и молибдена. Спецификой производства бейнитных валков является проведение специальной термической обработки после остывания валков с целью снижения количества остаточного аустенита. Эта структурная составляющая при высоком содержании способствует образованию и развитию микротрещин на поверхности валка при прокатке, что приводит к усилению сетки разгара и, соответственно, увеличению съема при переточках и уменьшению наката.

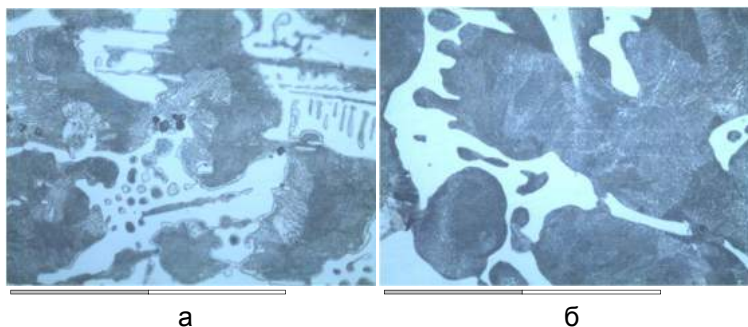


Рис. 2. Микроструктура перлитного чугуна,  $\times 500$ :  
а – с грубопластинчатым перлитом (твердость 50 HSc);  
б – с тонкопластинчатым перлитом (твердость 60 HSc)

Помимо твердости, существенное влияние на износостойкость валков при прокатке оказывают размеры, количество и распределение графитовых включений. Равномерно распределенный графит малых размеров препятствует распространению микротрещин в поверхностном слое валка, являясь преградой на их пути. Благодаря этому сетка разгара не распространяется глубоко от поверхности, что позволяет уменьшить съем за переточку. Управление характеристиками графита достигается регулированием термографических параметров чугуна перед выпуском из плавильной печи, подбором марок модификаторов и технологией модифицирования.

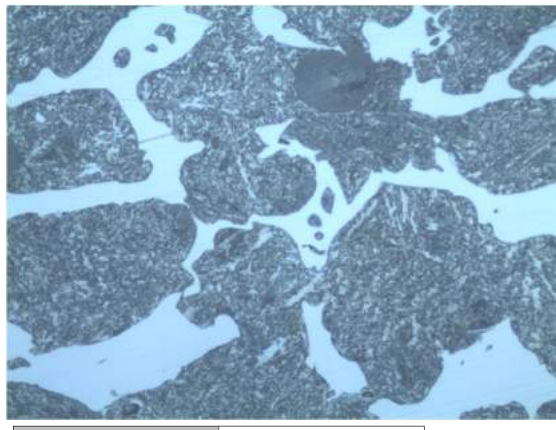


Рис. 3. Микроструктура бейнитного чугуна,  $\times 500$

В 2012 году в ЗАО «Кушвинский завод прокатных валков» было приобретено и введено в эксплуатацию специальное оборудование для термографического анализа чугуна и измерения количества остаточного аустенита в валках. Применение этого оборудования позволило освоить производство высокотвердых сортопрокатных валков с перлитной и бейнитной структурой и низким содержанием хрома. Разработана новая технология ведения плавки, модифицирования, заливки и термической обработки валков. Управление качеством расплава достигается регулированием термографических параметров: температур ликвидус и солидус, величины рекалесценции. Оптимальные термографические параметры были подобраны на основе имеющегося опыта в области термографического чугуна и проведенных исследований микроструктуры и свойств валковых чугунов. Для проведения модифицирования подобраны марки магнийсодержащего и вторичного модификаторов. В настоящее время валки с твердостью от 55 до 70 HSc, изготовленные по новой технологии, поставляются на предприятия России (ЧМК, НТМК, Ростовский ЭМЗ, «Северсталь – Сортовой завод Балаково»), Польши, Чехии, Мексики.

УДК 669.162.28

**С.К. Сибгатуллин, Э.А. Каримуллина**

Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

**В.А. Бегинюк**

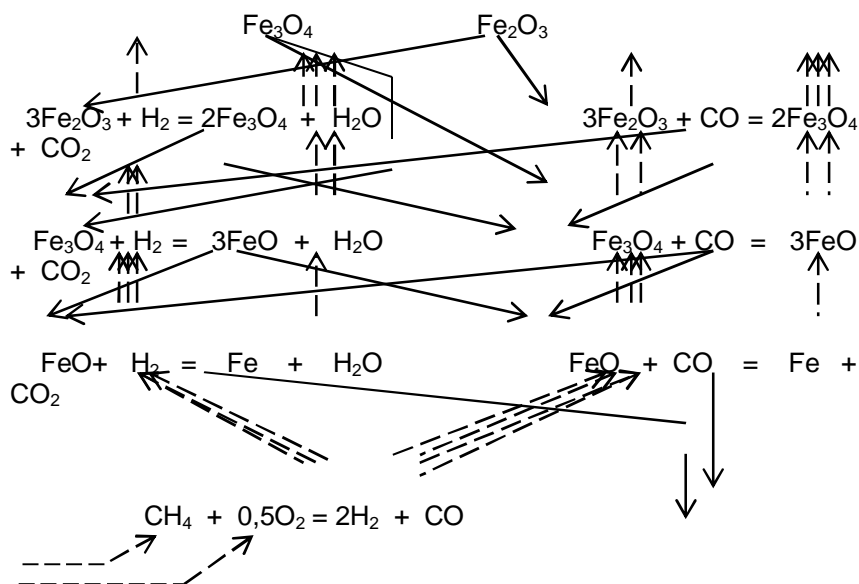
ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТА ЗАМЕНЫ КОКСА ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДОМЕННОГО ПРОЦЕССА**

В современных условиях работы доменной печи формируются верхняя и нижняя определяющие по силовому взаимодействию потоков шихты и газа зоны [1]. От места расположения её зависит возможность дальнейшего увеличения расхода природного газа с достижением высокого эквивалента замены им кокса [2–4]. Для снижения расхода энергоресурсов важно рациональное использование природного газа и приближение тем самым его

расхода к минимально потребному количеству, а коэффициента замены кокса – к максимальной величине.

Минимальному расходу природного газа на восстановление заданного количества железа из оксидов соответствует ступенчатое снижение степени окисления железа с последовательным противоточным использованием CO и H<sub>2</sub>, образующихся в результате конверсии природного газа. Схема процесса имеет вид:



При такой схеме продукты конверсии природного газа в виде H<sub>2</sub> и CO поступают вначале на восстановление Fe из наиболее трудновосстановимого оксида FeO, затем остатки CO и H<sub>2</sub> с накопленными CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O – на получение FeO из Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> и далее Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> из Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Количество H<sub>2</sub> и CO в газе постепенно уменьшается, а H<sub>2</sub>O и CO<sub>2</sub> увеличивается. На стадии превращения FeO в Fe степени использования H<sub>2</sub> и CO достигают равновесных величин, а далее имеют одинаковую степень приближения к равновесному значению.

Расход природного газа ( $\Gamma$ , м<sup>3</sup>), степень восстановления Fe из FeO водородом ( $r_{\text{H}}$ , %) и монооксидом углерода ( $r_{\text{CO}}$ , %), выход газа без азота дутья ( $V$ , м<sup>3</sup>) определяются из выражений:



$$\Gamma = \frac{1,2Fe_B \cdot (K_1 + 1) \cdot (K_1 + K_9)}{K_1 \cdot [5,6C_\Gamma \cdot (K_1 + K_9) + 3H_\Gamma \cdot (K_1 + 1)]}; \quad V = \frac{5,6C_\Gamma + 3H_\Gamma}{3} \cdot \Gamma;$$

$$r_H = \frac{300H_\Gamma \cdot (K_1 + 1)}{5,6C_\Gamma \cdot (K_1 + K_9) + 3H_\Gamma \cdot (K_1 + 1)}; \quad r_{CO} = \frac{560C_\Gamma \cdot (K_1 + K_9)}{5,6C_\Gamma \cdot (K_1 + K_9) + 3H_\Gamma \cdot (K_1 + 1)}$$

где  $Fe_B$  – количество восстанавливаемого железа, кг;

$K_1, K_9$  – константы равновесия реакций  $FeO + CO = Fe + CO_2$   
и  $H_2O + CO = H_2 + CO_2$  соответственно;

$C_\Gamma$  – количество углерода, поступающего с продуктами конверсии,  $кг/м^3$  природного газа;

$H_\Gamma$  – то же водорода,  $м^3/м^3$  природного газа.

Соотношение между степенями восстановления водородом и монооксидом углерода равно

$$\frac{r_H}{r_{CO}} = \frac{28C_\Gamma \cdot (K_1 + K_9)}{15H_\Gamma \cdot (K_1 + 1)}.$$

Максимальное количество железа, которое можно восстановить заданным количеством природного газа, составляет

$$Fe_B = \frac{\Gamma \cdot K_1 \cdot [5,6C_\Gamma \cdot (K_1 + K_9) + 3H_\Gamma \cdot (K_1 + 1)]}{1,2 \cdot (K_1 + 1) \cdot (K_1 + K_9)}.$$

Предельная степень использования водорода ( $\eta_H, \%$ ), монооксида углерода ( $\eta_{CO}, \%$ ) и всего газа ( $\eta_\Gamma, \%$ ) определяется из выражений:

- на выходе газа из зоны превращений  $FeO$  и  $Fe$

$$\eta_H = \frac{100K_1}{K_1 + K_9}; \quad \eta_{CO} = \frac{100K_1}{(K_1 + 1)};$$

$$\eta_\Gamma = 100K_1 \frac{5,6C_\Gamma \cdot (K_1 + K_9) + 3H_\Gamma \cdot (K_1 + 1)}{(K_1 + 1) \cdot (K_1 + K_9) \cdot (5,6C_\Gamma + 3H_\Gamma)};$$

- на выходе газа из зоны превращения  $Fe_3O_4$  в  $FeO$

$$\eta_H = K_1 \frac{[5,6C_\Gamma \cdot (K_1 + K_9) + 3H_\Gamma \cdot (K_1 + 1)](Fe_2 + 300) \cdot (K_2 + 1)}{3(K_1 + 1) \cdot (K_1 + K_9)[5,6C_\Gamma \cdot (K_2 + K_9) + 3H_\Gamma \cdot (K_2 + 1)]};$$

$$\eta_{CO} = K_1 \frac{[5,6C_\Gamma \cdot (K_1 + K_9) + 3H_\Gamma \cdot (K_1 + 1)](Fe_2 + 300) \cdot (K_2 + K_9)}{3(K_1 + 1) \cdot (K_1 + K_9)[5,6C_\Gamma \cdot (K_2 + K_9) + 3H_\Gamma \cdot (K_2 + 1)]};$$

$$\eta_r = K_1 (\text{Fe}_2 + 300) \frac{5,6C_r \cdot (K_1 + K_9) + 3H_r \cdot (K_1 + 1)}{3(K_1 + 1) \cdot (K_1 + K_9) \cdot (5,6C_r + 3H_r)};$$

- на выходе газа из зоны превращения  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

$$\eta_h \approx \eta_{\text{CO}} \approx \eta_r = K_1 \cdot (2\text{Fe}_2 + \text{Fe}_3 + 600) \cdot \frac{5,6C_r(K_1 + K_9) + 3H_r \cdot (K_1 + 1)}{6(K_1 + 1) \cdot (K_1 + K_9) \cdot (5,6C_r + 3H_r)},$$

где  $\text{Fe}_2$  и  $\text{Fe}_3$  – доля Fe, восстанавливаемого из  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  до FeO и из  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  до  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  соответственно, %;

$K_2$  – константа равновесия реакции  $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO} = 3\text{FeO} + \text{CO}_2$ .

При некоторой температуре процесса остаток газа-восстановителя после получения Fe из FeO равен потребностям в нем при последующем использовании на восстановление FeO из  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . После этого остатка газа с избытком хватает еще на получение  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  из  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Такая температура определяется решением системы уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{K_1 (\text{Fe}_2 + 300) [5,6C_r(K_1 + K_9) + 3H_r \cdot (K_1 + 1)]}{3(K_1 + 1) \cdot (K_1 + K_9)} = \frac{100K_2 [5,6C_r(K_2 + K_9) + 3H_r \cdot (K_2 + 1)]}{(K_2 + 1) \cdot (K_2 + K_9)}, \\ K_1 = f(T), \quad K_2 = f(T), \quad K_9 = f(T), \end{array} \right.$$

где  $T$  – температура процесса, К.

Для кислородной конверсии природного газа при  $\text{Fe}_2 = 100\%$  она получается равной  $615^\circ\text{C}$ , паровой  $612^\circ\text{C}$ , углекислотной –  $620^\circ\text{C}$ . Эта температура является минимально допустимой границей, разделяющей зоны превращения FeO в Fe и  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  в FeO. Смещение границы в область меньших температур при расходе газа, найденном из выражения для  $\Gamma$ , приводит к незавершенности восстановления.

На рис. 1–4 представлены показатели процесса восстановления в интервале  $615$ – $1600^\circ\text{C}$  для образования газов-восстановителей из природного газа в условиях доменной печи.

Минимальная потребность в природном газе на восстановление 100 кг железа составляет  $32$ – $42 \text{ м}^3$  (рис. 1), выход газа без азота дутья –  $98$ – $127 \text{ м}^3$ . Предельная степень использования газа на выходе из зоны превращения FeO в Fe равна  $31,5$ – $41\%$  (рис. 2),  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  в FeO –  $41,8$ – $54,5\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  –  $47,2$ – $61,2\%$  (рис. 4). Обычно встречающимся температурам выхода газов из зоны превращения FeO в Fe  $850$  –  $950^\circ\text{C}$  соответствуют: максимальное количество железа, которое можно восстановить продуктами конвер-

сии  $100 \text{ м}^3$  природного газа, 240 – 270 кг, предельная степень использования смеси CO и  $\text{H}_2$  при восстановлении из  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  – 46 – 47%, из  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 52,5 – 54,5%, эквивалент замены кокса газом – 1,25 – 1,45  $\text{кг}/\text{м}^3$ . Смещение процесса восстановления в область повышенных температур обеспечивает более экономичное использование природного газа. В практике это наблюдалось при переходе на неофлюсованные окатыши и высоконагретое дутье [3]. Эквивалент замены достигал 1,17  $\text{кг}/\text{м}^3$  [3].

### Заключение

Полученные зависимости позволяют оценить минимальный расход природного газа на восстановление заданного количества железа из оксидов и основные показатели процесса при этом.

В современных условиях доменной плавки максимально возможный эквивалент замены кокса природным газом составляет 1,25 – 1,45  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Смещение процесса восстановления железа из оксидов в высокотемпературную зону способствует увеличению эквивалента замены.

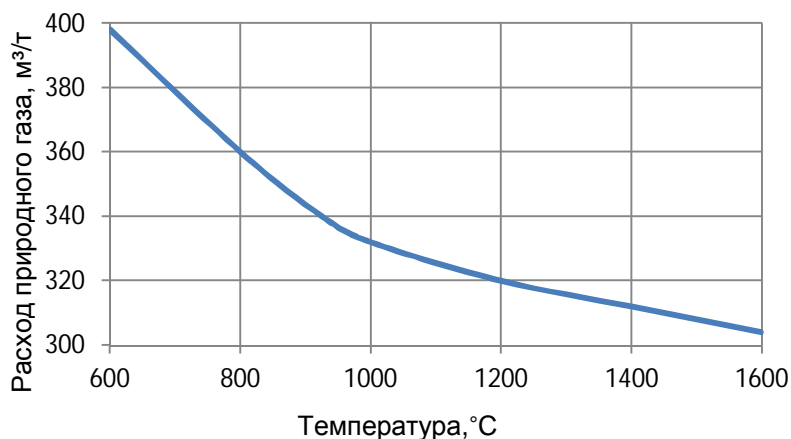


Рис. 1. Минимальный расход природного газа на восстановление железа из оксидов в зависимости от температуры процесса

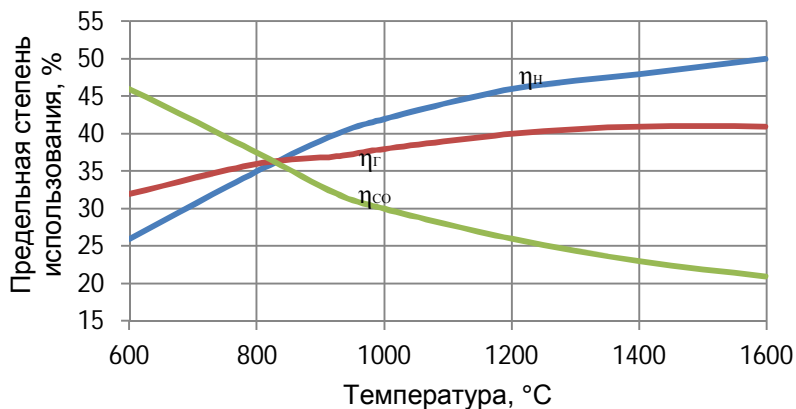


Рис. 2. Предельная степень использования CO ( $\eta_{CO}$ ),  $H_2$  ( $\eta_H$ ) и смеси газов ( $\eta_r$ ) на выходе из зоны восстановления FeO до Fe в зависимости от температуры процесса

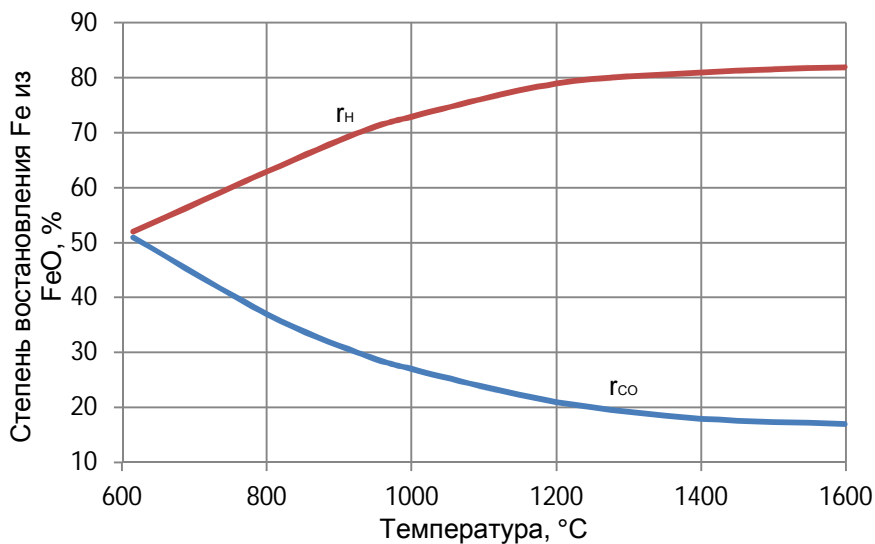


Рис. 3. Степень восстановления Fe из FeO монооксидом углерода ( $\Gamma_{CO}$ ) и водородом ( $\Gamma_H$ ) в зависимости от температуры процесса

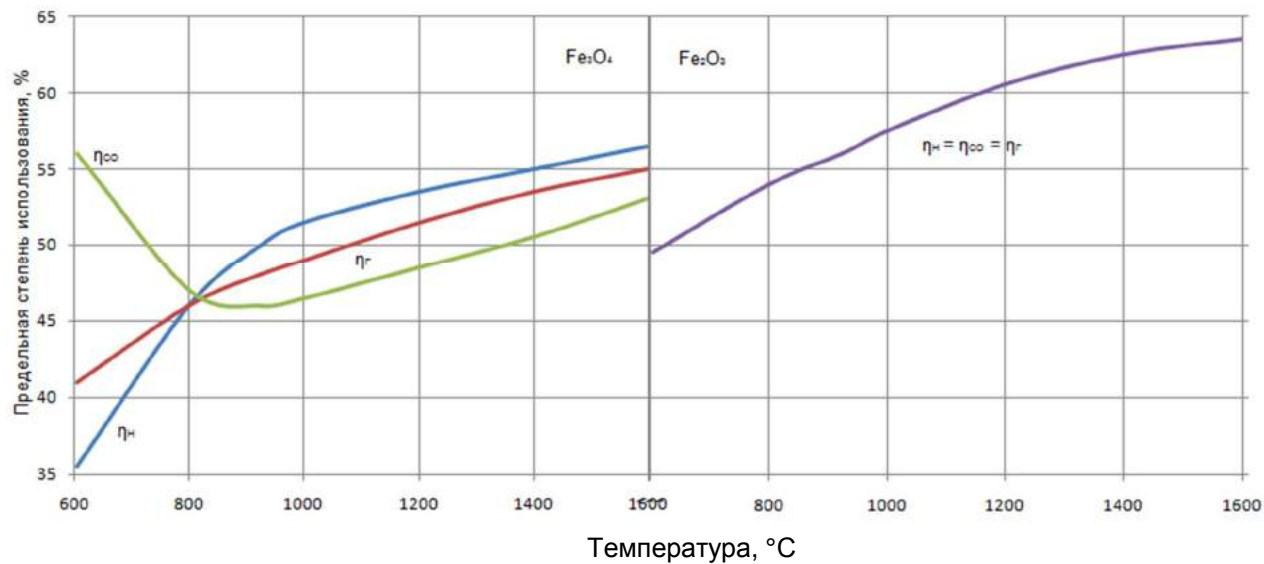


Рис. 4. Предельная степень использования CO ( $\eta_{CO}$ ), H<sub>2</sub> ( $\eta_H$ ), и смеси газов ( $\eta_r$ ) при восстановлении Fe из Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в зависимости от температуры процесса

---

---

## Литература

1. Стефанович М.А., Сибгатуллин С.К., Гушин Д.Н. Закономерности движения шихты и газа в доменной печи. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им.Г.И. Носова, 2011. 161 с.
2. Сибгатуллин С.К., Чевычелов А.В., Майорова Т.В. Анализ количества работы, совершаемой в доменной печи при использовании различного железорудного сырья // Изв. вузов. Чёрная металлургия. 2009. № 12. С. 7–9.
3. Использование средств организации доменного процесса / М.А.Стефанович, С.К. Сибгатуллин, Г.М. Гуляев и др. // Производство чугуна: межвуз. сб. Свердловск: УПИ, 1982. С. 99 - 107.
4. Сибгатуллин С.К., Чевычелов А.В., Евстафьев М.Н., Бегинюк В.А., Теплых Е.О., Харченко А.С. Влияние последовательности загрузки компонентов шихты в бункер компактного БЗУ на эффективность работы доменной печи // Чёрные металлы. Спец. выпуск. 2012. С. 43–45.

УДК 622.788.36

**Т.М. Насыров, И.В. Макарова**

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

### **ПРОИЗВОДСТВО ГИБРИДНОГО АГЛОМЕРАТА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. НОСОВА» И ИССЛЕДОВАНИЯ ЕГО СВОЙСТВ**

Гибридный агломерат или агломератыши – сравнительно новый продукт окускования железорудного сырья, объединивший в своей технологии стадии процесса получения как агломерата, так и окатышей.

Агломератыши – уникальное сырье, вобравшее в себя все положительные качества агломерата и окатышей:

- высокая холодная и горячая прочности;
- хорошая газопроницаемость;
- высокое содержание железа.

По литературным источникам изучены два способа получения агломератышей: японский и украинский. Обе технологии на

первой стадии получения гибридного агломерата включают производство миниокатышей крупностью 5–10 мм, окатанных из тонкоизмельченных концентратов, флюсов, связующего и топлива (японская технология). Основными отличиями технологий является агрегат для упрочнения миниокатышей: в японской – агломерационная машина, в украинской – обжиговая конвейерная машина.

В Японии с 1980-х гг. качество железорудного сырья для производства агломерата неуклонно ухудшалось:

- сокращалась доля высококачественных магнетитовых и гематитовых руд;
- увеличивалась доля лимонитовых руд;
- в больших объемах начало использоваться сырье открытого месторождения Марра Мамба с высоким содержанием  $Al_2O_3$  и гигроскопической влаги;
- росло потребление тонкого концентрата, предназначенного для производства окатышей.

Все это потребовало изменения технологии окомкования, этапы совершенствования которой представлены в табл. 1.

Таблица 1

Этапы развития окомкования агломерационной шихты в Японии [1–3]

Процесс окомкования	Структура частиц окомкованной шихты – квазичастиц, миниокатышей	Цель разработки	Агломашины, на которых реализована технология
Обычный способ		Равномерное смешивание	Кейхин, № 1 PSC
Процесс НПС		Улучшение сгорания коксика	Фукуяма, № 5

Окончание табл. 1

Процесс окомкования	Структура частиц окомкованной шихты – квазичастиц, миниокатышей	Цель разработки	Агломашины, на которых реализована технология
Окомкование с коксо-известковым покрытием	 <p>Известняк, коксовая мелочь</p> <p>Все типы железных руд</p>	Регулирование процесса плавления пизолитовых руд	Курасаки, № 2,3,4; Фукуяма № 4; Тиба № 4
Сегрегация пористой руды в квазичастице	 <p>Известняк, коксовая мелочь</p> <p>Плотные железные руды</p> <p>Пористые и мелкие железные руды</p>	Регулирование процесса плавления руды Марра Мамба и высокофосфористых руд	Фукуяма № 4

С 80-х годов прошлого века в Японии [3, 4] начато производство гибридного агломерата по технологии HPS (Hybrid Pelletized Sinter). Гибридный агломерат получают в несколько стадий (рис. 1).

Сначала проводится предварительное окомкование тонкодисперсных концентратов в гранулы (миниокатыши) до крупности 5–10 мм в тарельчатых грануляторах. Затем на полученные гранулы накатывается тонкоизмельченная коксовая мелочь. Далее полученный полупродукт отправляется на агломерационную машину конвейерного типа на спекание [5, 6]. Предварительное окомкование тонкоизмельченных концентратов позволило улучшить газопроницаемость спекаемого слоя, а накатывание топлива на поверхность миниокатышей – достичь частичного плавления кальциевого феррита и получить конечную структуру гибридного агломерата, состоящую главным образом из магнетита с высокой восстановимостью.

В России делаются первые шаги на пути к данной технологии: в ОАО «НЛМК» установлен узел комбинированного способа окомкования шихты барабанный-тарельчатый смесители [7].



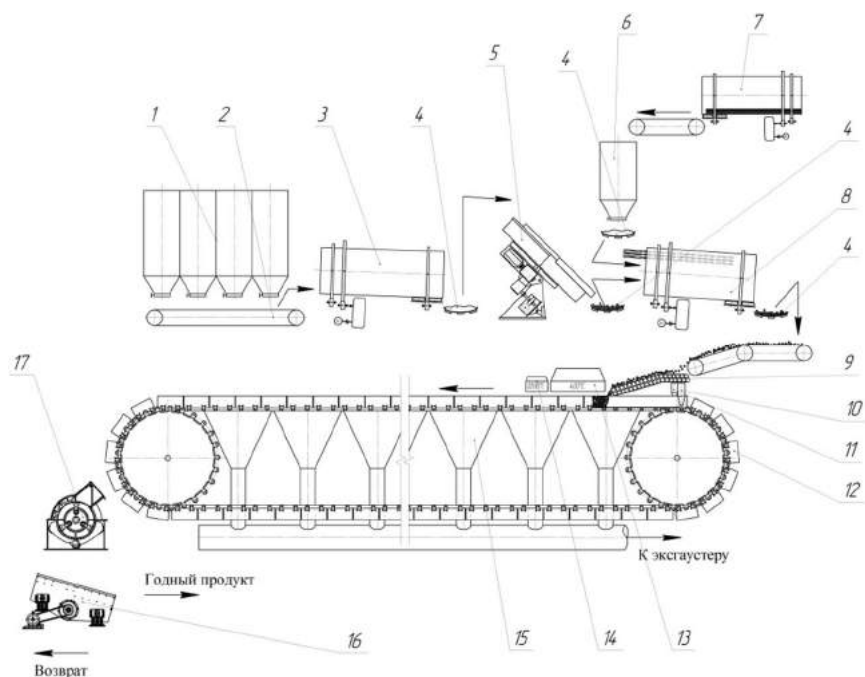


Рис. 1. Технологическая схема промышленного оборудования для производства агglomerата процессом HPS:

- 1 – шихтовые бункеры; 2 – сборочный транспортер; 3 – смесительный барабан; 4 – ленточный транспортер; 5 – тарельчатый гранулятор;
- 6 – коксовая (угольная) мелочь; 7 – стержневая мельница;
- 8 – барабанный окомкователь; 9 – роликовый укладчик;
- 10, 11 – бункера донной и бортовой постели; 12 – паллета;
- 13 – зона сушки; 14 – зажигательный горн; 15 – вакуум-камера;
- 16 – грохот; 17 – роторная дробилка

Анализ применения гибридного окускованного сырья в Фукуяма и Курасики (Япония) при выплавке чугуна подтвердил, что по своему гранулометрическому составу оно близко к стабилизированному агglomerату, даже при наличии 7–8% мелочи крупностью 0–5 мм приводит к увеличению производительности и снижению расхода твердого топлива (результаты опытных плавки с использованием гибридного агglomerата приведены в табл. 2 и 3).

Таблица 2

Сравнительные результаты работы доменной печи № 2  
в Курасики (Япония) [1–3]

Показатели		Обычный способ	Способ с накатыванием
Состав шихты, %	агломерат	70	70
	окатыши	10	10
	кусовая руда	20	20
Выход шлака, кг/т		282	282
Обогащение кислородом, %		1,5	1,5
Уд. производительность, т/(ч·м <sup>2</sup> )		2,01	2,03
Расход кокса, кг/т		517	510
Температура дутья, °С		980	980
Влажность дутья, г/м <sup>3</sup>		50	50
Козф. исп. СО		50,9	51,7

Таблица 3

Сравнительные результаты работы доменных печей № 4 и 5  
в Фукуяме (Япония) [4]

Показатели		Обычный способ	Способ с накатыванием
Состав шихты, %	обычный агломерат	78	23
	окатыши	2	2
	кусовая руда	20	20
	гибридный агломерат	-	55
Выход шлака, кг/т		327	309
Производительность, т/сут		9700	10300
Уд. производительность, т/(м <sup>3</sup> ·сут)		2,08	2,21
Расход кокса, кг/т		517,5	505,0
Температура дутья, °С		1050	1050
Влажность дутья, г/м <sup>3</sup>		55	55

По данным исследования полученный в лаборатории гибридный продукт содержит 61,9%  $Fe_{общ}$ ; 25,0%  $FeO$ ; 7,8%  $SiO_2$ ; 5,87%  $CaO$ . После длительного хранения прочностные характеристики материала находились на уровне ДСТУ 3200-95: прочность на удар  $M^{+5} = 75,0\%$ , прочность на истирание  $M^{-5} = 6,5\%$  [4].

В январе 2013 г. в лаборатории подготовки сырья ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова» была проведена серия опытов по получению гибридного агломерата по японской технологии. Перед проведением опытов был проведен достаточно глубокий (до 1970-х гг.) литературный обзор. Изучены опыты разных стран по улучшению окомкования агломерационной шихты. Были выбраны наиболее перспективные и практически применимые технологии получения гибридного агломерата.

Далее были произведены расчеты для получения продукта с основностью 1,20 – оптимальной для доменного передела.

Цель операций включала в себя:

- измельчение железорудного, угольного сырья, известняка и коксика;
- рассеивание по фракциям;
- дозирование и смешивание компонентов шихты;
- окатывание шихты до получения миниокатышей (гранул) в лабораторном тарельчатом грануляторе;
- рассеивание полученных гранул по крупности;
- проверка прочностных характеристик миниокатышей;
- сушка гранул оптимальной крупности;
- спекание миниокатышей на лабораторной аглочаше;
- испытание полученного гибридного агломерата на прочность и истираемость;
- исследование микроструктуры полученного продукта.

Смешанная шихта загружалась в предварительно смоченную чашу окомкователя. Уже при вращении чаши подавалась вода.

При диаметре чаши 425 мм и частоте вращения 24 об/мин опытно выявлено, что оптимальное время окомкования составляет 8–9 мин без накатывания коксика на поверхность и 30 с – при накатывании коксика (при окатывании миниокатышей с коксиком сверху 1 мин топливо «вкатывается» в гранулу, что затрудняет его горение).

Так же опытно был выявлен оптимальный размер миниокатышей, который составил 1–7 мм (рис. 2).

Далее миниокатыши подвергались упрочняющей сушке в сушильном шкафу при температуре 300°C в течение 1 ч. Еще горячие высушенные миниокатыши загружались в спекательную чашу лабораторной агломерационной установки (рис. 3, 4). В зависимости от преобладания фракции 5–7 мм процесс шел быстрее.



Рис. 2. Полученные миниокатыши

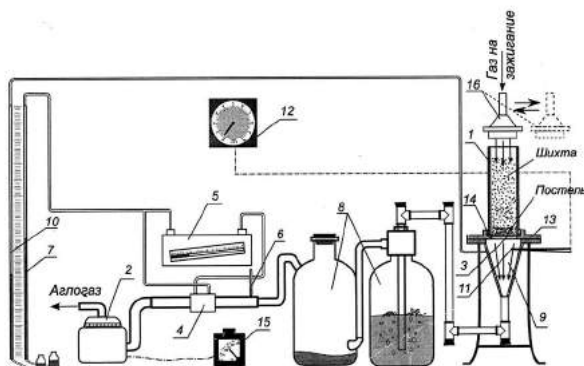


Рис. 3. Схема лабораторной агломерационной установки:  
 1 – спекательная чаша; 2 – вакуум-насос; 3 – колосниковая решетка;  
 4 – шайба; 5 – тягонапоромер; 6 – термометр; 7, 10 – водяной  
 манометр; 8 – стеклянные бутылки; 9 – вакуум-камера;  
 11 – хромель-алюмелевая термопара; 12 – потенциометр;  
 13 – верхний фланец; 14 – асбестовое уплотнение;  
 15 – автотрансформатор; 16 – зажигательный горн



Рис. 4. Лабораторная агломерационная установка

Полученный продукт по макроструктуре напоминал «гроздь винограда» (рис. 5, 6). Затем была проведена серия опытов по проверке гибридного агломерата на холодную прочность и истирание.



Рис. 5. Гибридный агломерат с оптимальным расходом твердого топлива



Рис. 6. Гибридный агломерат с избытком твердого топлива

Были изготовлены аншлифы (рис. 7) полученного гибридного агломерата и сделаны фотографии микроструктуры (рис. 8). В дальнейшем планируется изучение фазового и химического состава полученного гибридного агломерата.



Рис. 7. Аншлифы гибридного агломерата

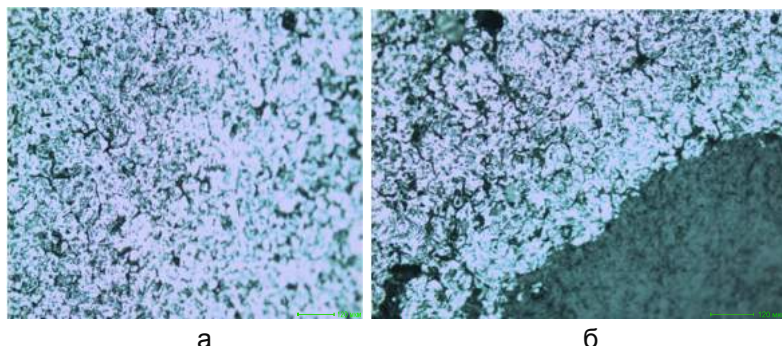


Рис. 8 – Микроструктура гибридного агломерата, полученного в лабораторных условиях ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г. И. Носова»: а – низ агломерационной чаши; б – середина агломерационной чаши

#### Выводы

При проведении лабораторных опытов выявлено, что:

1. Оптимальная крупность миниокатышей в слое высотой 240 мм составляет 1–7 мм (время спекания 19–20 мин). При увеличении их крупности до 3–9 мм, без снижения качества, время спекания снизилось до 11–12 мин, т.е. при предварительном окатывании аглошихты возможно увеличение высоты спекаемого слоя.
2. Для накатывания на поверхность пригоден не только коксик, но и уголь, что является экономически выгоднее.
3. Гибридный агломерат обладает достаточно высокой холодной прочностью.
4. Время спекания гранулированной шихты значительно меньше, по сравнению с традиционным агломератом.

#### Литература

1. Progress of granulation technology for sinter mixture at JFE Steel / T.Higuchi, N. Oyama, T. Kamino, K. Yamashita // Zairyo to Prosesu=CAMP ISIJ. 2010. № 1. P. 125–128.
2. The improvements of granulation technique for sintering efficiency developing / S.Kawachi, S. Kasama // Zairo to Prosesu=CAMP ISIJ. 2010. № 1. P. 121–124.
3. Development of sinter mixture granulation at Nisshin Steel Kure works / O. Tadashi, Y. Sassa, S. Naoya et al. // Zairo to Prosesu=CAMP ISIJ. 2010. № 1. P. 117–120.

4. Нива Я. Промышленное производство окучкованного рудного доменного сырья с массовым использованием руды с низким содержанием пустой породы // Экспресс-обзор. Новейшие зарубежные достижения. 1993. № 6.
5. Суліменко С. Енергозберігаюча технологія керованого рідкофазного спікання гібридного залізорудного матеріалу для доменного переділу: автореф. дис. Дніпропетровськ, 2010.
6. Новейшие достижения в агломерации железных руд / Т. Инадзуми // Тэцу то хаганэ. 1996. Т 82. №12. С. 965–974. Яп.
7. Исаенко Г. Совершенствование технологии комбинированного окомкования, загрузки, зажигания и спекания агломерационной шихты: автореф. дис. Липецк, 2011.

УДК 621.78.08

**К.Н. Вдовин, Д.А. Горленко, А.Н. Завалищин**  
Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

### **ПРОЦЕССЫ, ПРОХОДЯЩИЕ ПРИ НАГРЕВЕ ИНДЕФИНИТНОГО ХРОМОНИКЕЛЕВОГО ЧУГУНА**

Хромоникелевые чугуны относятся к классу легированных, износостойких чугунов. Основное требование к этой группе чугунов – способность нести длительную службу без поломок и при минимальном износе [1].

После кристаллизации и охлаждения в отливках возникают значительные усадочные и термические напряжения, связанные с массивностью изделий и низкой теплопроводностью легированного чугуна, которые дополняются фазовым наклепом при  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращении, поэтому эксплуатация изделий в литом состоянии нежелательна, что связано с возможным разрушением изделия.

Одним из методов снятия внутренних напряжений являлось длительное (порядка полугода) вылеживание на складах. При этом происходит релаксация напряжений на 30%. Этого достаточно, чтобы повысить срок службы и сохранить твердость, следовательно, и износостойкость изделий. Экономически это нецелесообразно, так как занимают большие площади и увеличивается срок реализации продукции. Заменой естественного вылеживания яв-



ляется отпуск, при котором процессы релаксации проходят значительно быстрее, а необходимое на это время составляет от нескольких часов до нескольких суток, в зависимости от формы и массивности изделия. Не существует единого мнения о температуре отпуска. Большая температура способствует более быстрому протеканию процессов и снятию остаточных напряжений на 70%, но при этом происходит значительное снижение твердости. Меньшая температура выдержки приводит к снятию напряжений только на 30–50%, при этом твердость и износостойкость снижается меньше, но повышается возможность преждевременного появления трещин [2, 3]. Следовательно, необходимо выбирать оптимальное соотношение между структурой, определяющей свойства изделия, и напряжениями путем выбора требуемой температуры отпуска.

Целью данной работы явилось изучение формирования структуры в литом чугуна при нагреве после кристаллизации.

Исследования проводили на образцах чугуна, химический состав которого представлен в таблице.

Химический состав индифинитного чугуна, %

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
3.05-3.20	0.7-1.0	0.75-0.95	0.015	0.045	1.5-1.85	4.0-4.6

Образцы отбирали от отливок после кристаллизации. Микроструктура изучалась с помощью светового микроскопа MEIJI 2700 при увеличениях от 50 до 1000 крат с помощью анализатора изображений Thixomet PRO. Процессы, проходящие при нагревании чугуна, определялись с помощью термоанализатора NETZSCH STA 449 F3 Jupiter. Нагрев образцов осуществляли со скоростями от 5 до 30 °С/мин. Для фиксирования высокотемпературной структуры образцы охлаждали в воде, тем самым подавляли выделение вторичных фаз и распад аустенита.

На дериватограммах, полученных при скорости нагрева 5°С/мин, находится несколько характерных пиков, соответствующих структурным и фазовым превращениям, сопровождающихся тепловыми эффектами (рис. 1).

Первая реакция на нагрев наблюдается в интервале температур 250–280°С, при этом с увеличением скорости нагрева верхняя граница интервала смещается в область более высоких температур. Второй пик при скорости нагрева 5°С/мин появляется при температурах 420–540°С. С увеличением скорости нагрева темпе-

ратурный интервал реакции увеличивается при одновременном росте температуры на границах интервала пропорционально скорости нагрева. Третья реакция на нагрев наблюдается при температурах 700–740°C, интервал и температура начала и конца незначительно зависят от скорости нагрева. Четвертая реакция протекает при температурах выше 830°C, и температура ее начала увеличивается с увеличением скорости нагрева.

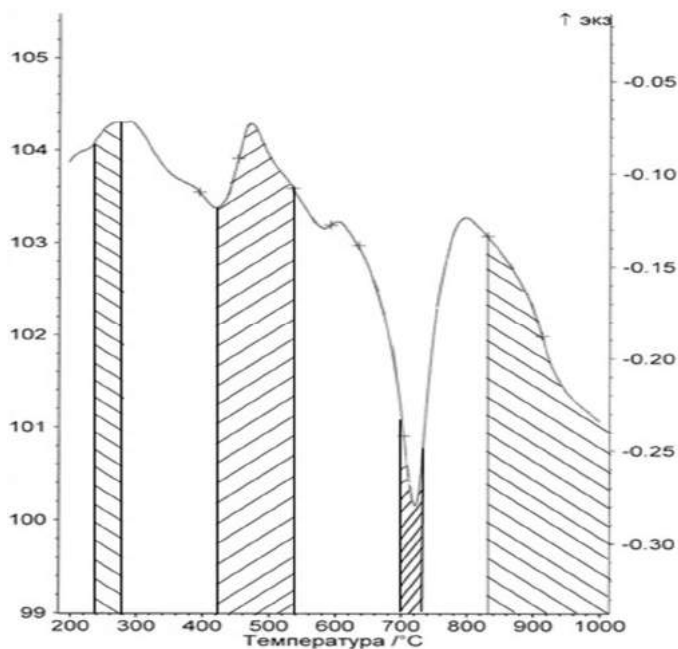


Рис. 1. Дериватограмма, полученная при нагреве чугуна

Экзотермический пик при температурах 260–280°C соответствует выделению вторичных карбидов (рис. 2, а, б).

Снижение температуры уменьшает скорость диффузии, что затруднит выделение карбидов, и ниже 180°C процесс выделения практически полностью прекращается. Наиболее интенсивное выделение вторичных карбидов происходит при скоростях нагрева 10–15°C/мин (рис. 2, в). Дальнейшее увеличение скорости нагрева приводит к снижению интенсивности выделения вторичных карбидов, причем скорость нагрева на размер вторичных карбидов не влияет.

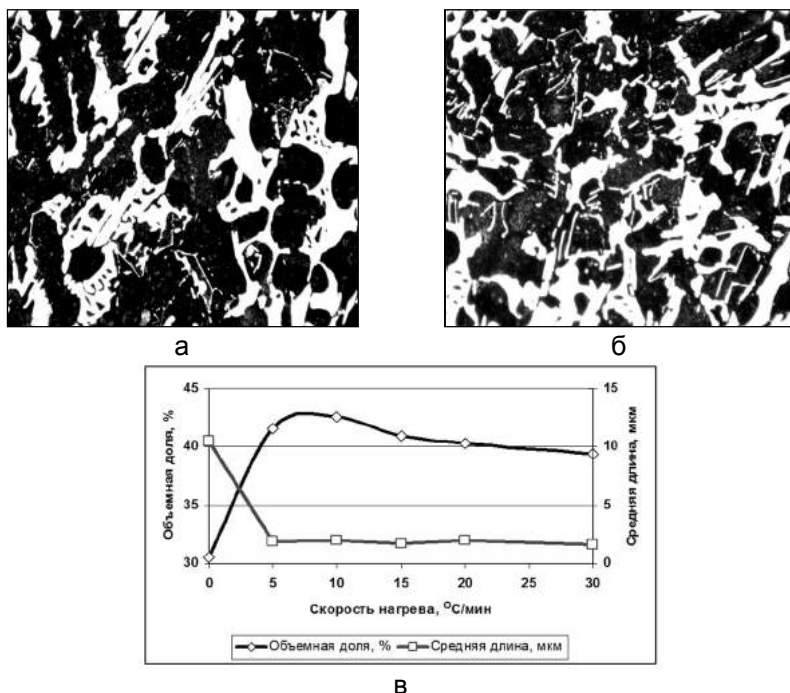


Рис. 2. Микроструктура чугуна в литом состоянии (а),  $\times 200$ ; после нагрева до  $300^{\circ}\text{C}$ , выдержки 15 мин и охлаждения в воде (б),  $\times 200$ ; зависимости объемной доли и средней длины карбидов от скорости нагрева (в)

Повышение температуры подавляет выделение карбидов и заменяется более активным процессом выделения мелких включений хлопьевидного графита (рис. 3, а, б). Этому соответствует эндотермическая реакция, протекающая в интервале температур  $350\text{--}550^{\circ}\text{C}$  (см. рис. 1). Объемная доля графита пропорциональна времени выдержки и температуре нагрева.

Количество графита с ростом скорости нагрева до  $15^{\circ}\text{C}/\text{мин}$  увеличивается в результате повышения интервала температур выделения, при этом его средний размер уменьшается из-за образования новых включений. При дальнейшем увеличении скорости нагрева количество графита снижается из-за уменьшения времени выделения, при этом средний размер графита растет за счет выделения на существующих включениях (рис. 3, в).

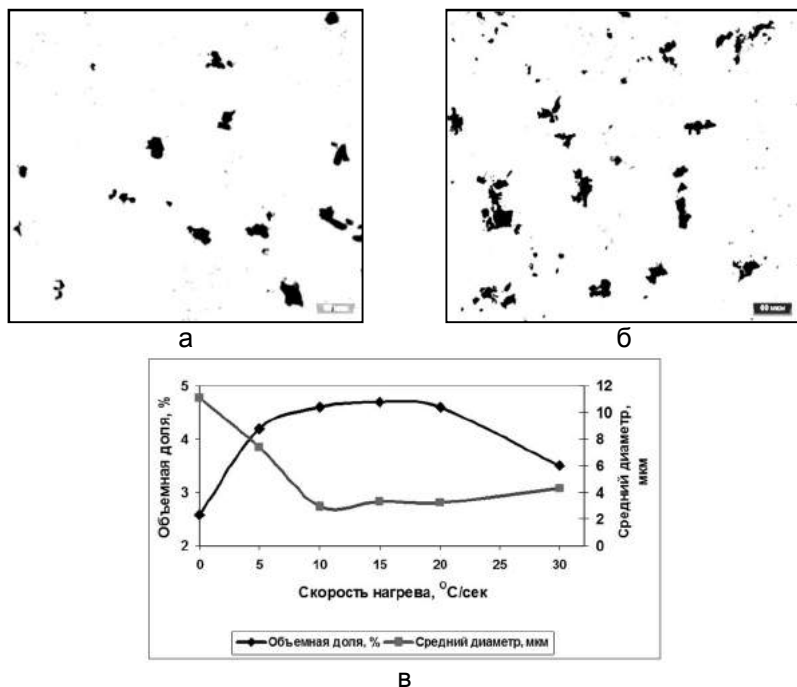


Рис. 3. Микроструктура чугуна в литом состоянии (а), (не травл.)  $\times 500$ ; после нагрева до  $550^{\circ}\text{C}$ , выдержки 30 мин и охлаждения в воде (б), (не травл.)  $\times 500$ ; зависимости объемной доли и среднего диаметра графитовых включений от скорости нагрева (в)

С увеличением времени выдержки температурные интервалы выделения карбидов и графита перекрываются, и возможно одновременное их образование. Поэтому варьированием скорости нагрева и временем выдержки можно регулировать необходимое соотношение этих фаз.

Эндотермическая реакция при температуре  $720^{\circ}\text{C}$  соответствует фазовому  $\alpha\text{-}\gamma$  превращению, т.к. другие превращения и выделения подавляются высокими скоростями нагрева. Последующая высокая скорость охлаждения стабилизирует аустенит, и в структуре наблюдается аустенит и карбиды, образовавшиеся при кристаллизации. Следовательно, при нагреве выше  $720^{\circ}\text{C}$  структура чугуна представлена аустенитом и карбидами (рис. 4), которые

начинают растворяться при температуре 830°C (рис. 5), чему соответствует эндотермическая реакция на кривой рис. 1.

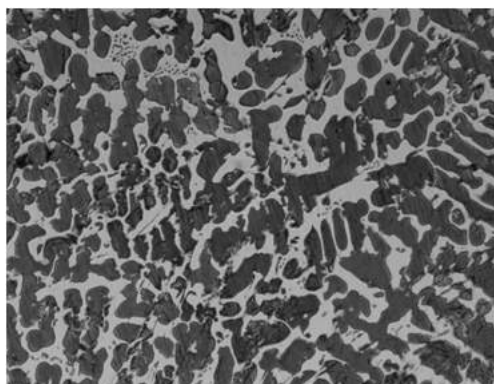
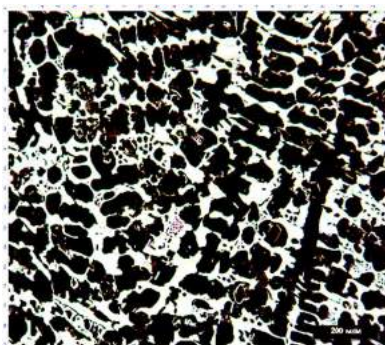
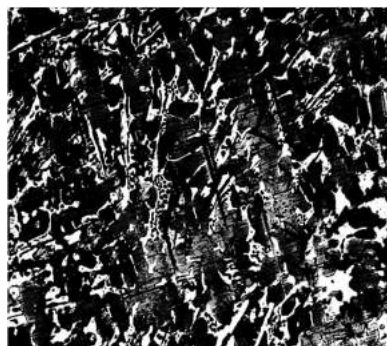


Рис. 4. Микроструктура чугуна после нагрева до температуры 740°C, выдержки 10 мин и охлаждения в воде, x100

С увеличением скорости нагрева температура начала растворения карбидов несколько увеличивается, и с повышением температуры аустенитизации и продолжительности выдержки объемная доля карбидов уменьшается с 30,5 до 16,0% (рис. 6).



а



б

Рис. 5. Микроструктура чугуна, x100: а – в литом состоянии; б – после нагрева до 1100°C, выдержки 60 мин и охлаждения в воде

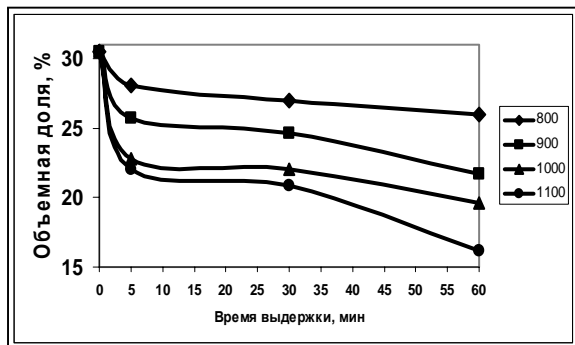


Рис. 6. Зависимость объемной доли карбидов от температуры и времени выдержки

### Выводы

1. В процессе нагрева индифинитного хромоникелевого чугуна в интервале температур от 20 до 1100°C на дериватограммах наблюдаются четыре тепловых эффекта. Первый эффект при температурах 250–280°C соответствует выделению вторичных карбидов, при температурах 420–540°C происходит выделение графита, третий тепловой эффект наблюдается при температурах 700–740°C и связан с  $\alpha$ - $\gamma$  превращением, последний эффект протекает при температурах выше 830°C и соответствует растворению карбидов.

2. С увеличением скорости нагрева температуры начала и конца тепловых эффектов смещаются. Температура конца выделения карбидов смещается в область более высоких температур; интервал и температуры границ выделения графита увеличиваются; температура  $\alpha$ - $\gamma$  превращения зависит от скорости нагрева незначительно; температура начала растворения карбидов растет пропорционально скорости нагрева.

3. При изменении скорости и температуры нагрева появляется возможность регулирования соотношения фаз в индифинитном хромоникелевом чугуне, что позволяет корректировать режимы отпуска для получения необходимых структуры и свойств.

### Литература

1. Емелюшин А.Н., Петроченко Е.В., Нефедьев С.П. Исследование структуры и ударно-абразивной износостойкости покрытий си-

- стемы Fe-C-Cr-Mn-Si, дополнительно легированных азотом // Сварочное производство. 2011. № 10. С.18–22.
2. Прокатные валки: монография / Вдовин К.Н., Гималетдинов Р.Х., Колокольцев В.М. и др. Магнитогорск: МГТУ, 2005. 543 с.
  3. Вдовин К.Н., Зайцева А.А. Влияние термической обработки на валковый чугун, модифицированный бором // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им Г.И. Носова. 2011. №4. С.13–15.

УДК 669

**Е.А. Чернышов, А.Д. Романов**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

## **РАЗВИТИЕ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОРПУСНЫХ СТАЛЕЙ**

Глубина погружения – одна из главных характеристик подводного корабля, она позволяет снизить вероятность обнаружения и поражения подводной лодки (ПЛ). Во времена первой мировой войны считалась достаточной 50-метровая глубина. Во второй мировой войне участвовали подводные лодки с глубинами погружения свыше 100 м. У первых серийных атомных лодок она превышала 200 м, а у построенных в 1970-е годы превысила 400 м. Однако, с увеличением глубины погружения на каждые 10 м гидростатическое давление возрастает на 100 кПа. Наиболее простым, на первый взгляд, кажется увеличение толщины обшивки прочного корпуса, но при этом возрастает его масса, а с нею и водоизмещение лодки. Глубоководная подводная лодка USS Dolphin (AGSS-555) из стали марки HY-80 имеет прочный корпус правильной цилиндрической формы с полусферическими закруглениями в носу и корме. Масса корпусных конструкций на подводных лодках США постройки тех лет составляла примерно 40% водоизмещения, из которых около половины приходилось на прочный корпус. Проектировщики Dolphin пошли по пути увеличения толщины обшивки корпуса, в результате масса корпусных конструкций составила около 60% водоизмещения. В 1968 году ПЛ Dolphin установила рекорд (среди действующих подводных лодок) по глубине погру-

жения – свыше 3 000 футов (915 м).

Применительно к используемой стали основными свойствами материала корпуса являются предел текучести и модуль упругости. При этом материалы для изготовления конструкций должны обладать высокой удельной прочностью. Чем выше удельная прочность материала, тем с меньшей затратой массы материала можно получить для ПЛ большие предельные глубины погружения. Высокий модуль упругости первого рода при одинаковых толщинах обшивки прочного корпуса позволит получить большие предельные глубины погружения. Погружаясь и всплывая, лодка получает достаточно большое количество циклов нагружения, что может привести к возникновению усталостной трещины. Кроме этого, корпус подводной лодки может получать значительные динамические воздействия, которые будут вызывать разрушения, если материал корпуса ПЛ не будет обладать высокой динамической прочностью. Необходимы высокая коррозионная стойкость и неизменность физических свойств в диапазоне температур, встречающихся в эксплуатации ПЛ (от -35 до 50°C). Наличие концентрации напряжений в узлах приводит к тому, что повышается склонность материала прочного корпуса к хрупкому разрушению.

У России большой опыт строительства ПЛ из титановых сплавов. Титан обладает значительно большей удельной прочностью, например, при примерно равном пределе текучести (588 МПа) сплав 48-OT3 (74,9 МПа\*м<sup>3</sup>/т) значительно превосходит по удельной прочности сталь марки АК-25 (132,1 МПа\*м<sup>3</sup>/т) [9]. Применение титана для корпуса лодок позволяет увеличить глубину погружения и снизить магнитное поле лодки, но ощутимо отражается на стоимостных показателях. Кроме того, была построена экспериментальная подводная лодка Aluminaut из алюминиевого сплава, также ведутся работы по применению стеклопластика для прочного корпуса сверхмалых ПЛ и стеклокомпозитов для глубоководных аппаратов. Однако большинство ПЛ построены и будут построены из стали. А для предупреждения коррозионного износа материалов при воздействии морской воды созданы двухслойные АБ2П и трехслойные АБ2Т плакированные стали, в которых в качестве плакирующего слоя используется коррозионно-стойкая сталь марок 08Х19Н10Г2Б или 08Х18Н10Т [7].

Применение стали с повышенными эксплуатационными свойствами (прочность, предел текучести, ударная вязкость и др.) позволит снизить массу прочного корпуса (который составляет около 40% от водоизмещения). В США с начала 1950-х годов по



заданию ВМС была начата разработка сталей типа НУ с повышенными механическими свойствами, особенно предела текучести. Сталь этого типа проходила проверку на USS Albacore (AGSS-569). Ее применение позволило уменьшить массу прочного корпуса лодки примерно на 30%. Также сталь с высокими параметрами активно применяется для глубоководных подводных аппаратов, например, толщина стенок батискафа «Trieste», на котором 23.01.1960 была достигнута глубина 10919 м, составляет 105 мм. По заказу СССР в Финляндии концерном Rauma Repola в 1987 году были изготовлены аппараты «Мир-1» и «Мир-2», достигнутая ими глубина – 6170 и 6120 м соответственно. Корпус изготовлен из никелевой стали (мартенситная, с 18% никеля), сплав имеет предел текучести 150 кг/мм<sup>2</sup>. Сферы собраны из полусфер, созданных путем непрерывного литья в форму и затем подвергшихся механической обработке. В отличие от «Миров», глубоководные аппараты 16810 «Русь» и 16811 «Консул», изготовленные в России, имеют прочный корпус из титанового сплава.

Для изготовления прочных корпусов современных подводных лодок используются низколегированные специальные стали. В американском подводном кораблестроении применяют стали марок НТ и НУ, в России стали марки АК и АБ. Созданную в USA в 1943 г. низколегированную сталь марки НТ широко использовали при строительстве дизель-электрических и первых атомных подводных лодок. На новых атомных лодках, прочные корпуса которых изготовлены из сталей марки НУ, сталь марки НТ применяют для изготовления легких конструкций и фундаментов. К концу 1962 г. в США была создана новая высокопрочная сталь марки НУ-100, в настоящее время в США разработаны более прочные стали: НУ-130, НУ-150, НУ-180 и НУ-230 (табл. 1, 2).

Таблица 1

Механические свойства сталей, применяемых  
в подводном кораблестроении США и России [1, 2 и др.]

Марка стали	$\delta_{в}$ , МПа	$\delta_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %
НУ-80	750	618	24	69
НУ-100	895	700-840	20	70
НУ-130	> 910–1120	1050	16	60
АБ2-1	> 637	588-686	18	50
АБ2ПК	637–834	> 588	18	50
АБ2ПКМ	735–931	> 690	18	50
АБ2Л	-	600 – 720	18	50

Применение первых отечественных корпусных свариваемых сталей марок СХЛ-4 (10ХСНД) и СХЛ-45 с пределом текучести соответственно 400 и 450 МПа, созданные в послевоенные годы, сопровождалось рядом проблем, в частности с образованием значительных трещин. НИОКР, выполненные ЦНИИ КМ «Прометей», позволили установить, что основной причиной хрупкости этих сталей являлось формирование грубой ферритно-перлитной структуры в горячекатаном и нормализованном состояниях, вследствие чего была низкая ударная вязкость [2].

Были исследованы и внедрены специальные режимы термической обработки, изменена технология получения литых заготовок, что способствовало формированию равномерной тонкодисперсной сорбитной структуры, которая обеспечивает достаточно высокое сопротивление хрупким разрушениям. Кроме того, были установлены специальные требования по уровню механических свойств, что позволило в дальнейшем успешно применять эти стали для изготовления различных конструкций. Ускоренное охлаждение в процессе затвердевания приводит к снижению хрупкости стальных изделий и может быть рекомендовано для получения ответственных изделий. Критическая температура хрупкости опытной стали определена по проценту волокнистости в изломе  $T_K^B = 70\%$  и ударной вязкости, равной  $0,6 \text{ МДж/м}^2$ . Аналогичные результаты получены на образцах с «мягким» и «острым» надрезом [9].

Предварительные расчеты прочного корпуса АПЛ с предельной глубиной погружения 300 м, выполненные СКБ-143, на стадии эскизного проектирования показали, что применение использовавшихся в то время сталей марок СХЛ-4 и МС-1 приведет к значительному росту относительной массы корпуса и водоизмещение корабля [9]. Поэтому дальнейшим развитием стало создание стали АК-25 для прочного корпуса первых АПЛ и других кораблей [3]. Особенностью развития стало создание стали, которая обладала не только более высокой прочностью и хорошей свариваемостью, но и существенно более высоким сопротивлением хрупким разрушениям, значительно большей усталостной и коррозионно-механической прочностью. В результате НИОКР были решены вопросы прочности сварных соединений стали АК-25, выполненных электродами марки ЭА-395/9, и сварочной проволокой марки ЭИ-395 в составе корпусных конструкций, а также поковок и отливок повышенной прочности (АК-25ПК и АЛ-9). Также были внедрены вварные съемные листы вместо съемных клепанных и оценена работоспособность этих конструкций в процессе эксплуатации при

многokrатном вскрытии газовой резкой съемных личтов и последующем выполнении вновь сварных швов. ЦНИИ-48 разработал технологию вырезки и варки съемных листов с применением низколегированных электродов [9].

Следующее кардинальное улучшение технологических и физико-механических свойств стали было достигнуто в начале 1970-х годов после разработки и внедрения электрошлакового переплава [4]. Одновременно проводились НИОКР по оценке взаимосвязи легирования со структурой и механическими свойствами, что позволило сформулировать основные принципы легирования стали – минимизировать содержание углерода и легирующих элементов в количествах, обеспечивающих сквозную прокаливаемость и ослабление отпускной хрупкости [5]. Кроме того, развитие шло не только по пути изменения химического состава стали, но и структуры, в частности, переход на прокатку на станах «Квадро» вместо «Дуо» позволил повысить качество стали и ее технологические свойства, прежде всего свариваемость. В настоящее время в условиях развития современной качественной металлургии специалистами ЦНИИ КМ «Прометей» совместно с ОАО «Северсталь» и ООО «ОМЗ-Спецсталь» разработаны технологии производства, при которых за счет внепечной рафинирующей обработки и вакуумирования удается получить металл, не уступающий по качеству стали ЭШП.

Таблица 2

Химический состав сталей, применяемых  
в подводном кораблестроении США

Марка стали	Содержание легирующих элементов, %								
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo
HY-80	0.16	< 0.4	0.3	0.02	0.015	1.15	2.85	-	0.45
HY-100	0.17	0.2	0.3	0.02	0.020	1.55	2.85	0.2	0.45
HY-130	0.1	0.2	0.75	0.004	0.007	0.58	4.93	-	0.48
HY-230	0.025	0.23	0.05	-	-	-	18.6	-	4.6

Исследования показали, что оптимальный комплекс свойств высокопрочной стали достигается при совместном легировании стали хромом, никелем и молибденом с модифицирующими добавками ванадия, ниобия и алюминия. Кроме химического состава улучшить физико-механические свойства стали позволила оптимизация режимов термической обработки. Так, после термической обработки (закалка и высокий отпуск) обеспечивается получение структуры, представляющей высокодисперсный сорбит, с эффек-

тивным твердорастворным упрочнением ферритной матрицы. Эта структура позволяет избежать при сварке разупрочнения в зоне термического влияния, значительной подкалки вблизи линии сплавления и соответственно снижения пластичности и вязкости, появления значительных растягивающих напряжений в сварном соединении и других факторов, снижающих работоспособность конструкции [6].

Следующим шагом стало опробование создания наноструктуры в массивных заготовках. Благодаря жестко лимитированному химическому составу и режимам термомеханической обработки происходит измельчение структуры стали вплоть до наноуровня. Наследуется высокая плотность дислокации аустенита, что обеспечивает повышение прочностных характеристик стали, а ультрамелкозернистая структура позволяет сохранить и высокое сопротивление хрупким разрушениям при низких температурах.

Для производства крупногабаритного проката из стали марки АБ2-1 разработана технология термомеханической обработки с последующим высоким отпускком. Важной особенностью высокотемпературной обработки (закалка с прокатного нагрева) является наследование дислокационной структуры, созданной в процессе горячей пластической деформации стали в аустенитном состоянии, при полиморфном превращении в стали в процессе последующего ускоренного охлаждения.

### Литература

1. Малышевский В.А., Семичева Т.Г., Хлусова Е.И. Новые корпусные стали для судостроения // Судостроение. 2004. №5.
2. Крошкин А.А. Судостроительные корпусные стали. Л.: Судпомгиз, 1957.
3. Горынин И.В. Создание стали АК-25 для первой атомной подводной лодки «Ленинский комсомол». По пути созидания. СПб.: ЦНИИ КМ «Прометей», 1999.
4. Владимирв Н.Ф., Голубев А.Я. Развитие технологии производства листовых корпусных сталей // Вопросы материаловедения. 1999. №3.
5. Теоретические и экспериментальные основы создания вторичных свариваемых конструкционных сталей / И.В. Горынин, В.В., Рыбин, В.А. Малышевский, Т.Г. Семичевский // МИТОМ. 1999. №9.

6. Высокопрочные свариваемые стали / И.В. Горынин, В.А. Малышевский, Ю.Л. Легостаев, Л.В. Грищенко // Вопросы материаловедения. 1999. №3.
7. Особенности структуры высокопрочной плакированной стали / Ю.Л. Легостаев, Г.Д. Матавилина, Т.Г. Семичева // Вопросы материаловедения. №2. 1998.
8. Чернышов Е.А. Влияние технологии получения стальных заготовок на склонность к хрупкому разрушению // Вопросы материаловедения. 2010. №3. С.27–32.
9. Крылов В.В. О проектировании корпусов многоцелевых подводных лодок из высокопрочных сталей и титановых сплавов // Судостроение. 2006. № 1. С 47–52.

УДК 669.046.554-982

**А.Н. Шаповалов**

Новотроицкий филиал НИТУ «МИСиС»

**В.Д. Тугарова, А.Н. Калитаев**

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВАКУУМИРОВАНИЯ ОСЕВЫХ МАРКОВ СТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ЭСПЦ ОАО «Уральская Сталь»**

Ограниченные возможности регулирования физических и физико-химических условий протекания процессов плавки стали в сталеплавильных агрегатах, повышение требований к качеству стали, а также необходимость разработки технологии и производства стали принципиально нового качества привели к созданию новых сталеплавильных процессов, соответствующих современному уровню развития техники. Внедрение современных способов внепечной обработки показало, что они позволяют существенно улучшить качество стали и получить сталь с принципиально новыми свойствами. Одним из способов внепечной обработки стали является вакуумирование. Введение в эксплуатацию в электросталеплавильном цехе ОАО «Уральская Сталь» (с мая 2012 года) установки вакуумирования стали ковшевого типа позволило существенно улучшить показатели непрерывной разливки стали и качество проката [1–4].

Технические характеристики двухкамерного вакууматора ОАО «Уральская Сталь» приведены в табл. 1.

Таблица 1  
Технические характеристики двухкамерного вакууматора

Наименование параметра	Значение
Масса металла в ковше, максимальная, т	120
Высота свободного борта (расстояние от края ковша до шлака), не менее, мм	500
Высота вакуум-камеры, общая, мм	5900
Диаметр вакуум-камеры, мм	5800
Количество ступеней/эжекторов, шт./шт.	5/7
Продолжительность вакуумной обработки (мах), мин	56
Время работы насоса (разрежение >0,5 кПа), мин	6
Время вакуумирования (разрежение <0,5 кПа), мин	28
Расход пара (мах), т/ч	14,230
Температура пара на входе, °С	205–210
Давление аргона (мах), (МПа) бар	(1,7) 16
Давление азота (мах), (МПа) бар	(1,2) 12
Расход аргона (мах)/(средний), м <sup>3</sup> /т	0,072/0,03
Расход азота, м <sup>3</sup> /т	0,016

Обработке на установке вакуумирования подвергают сталь, выплавленную в дуговой сталеплавильной печи и обработанную на установке «ковш-печь». При этом температура металла перед выпуском из дуговой сталеплавильной печи должна составлять 1670–1700°С, а в конце обработки на установке «ковш-печь» перед отдачей на установку вакуумирования стали – 1620–1640°С.

При проведении вакуумной обработки стали выполняются следующие технологические операции:

- продувка металла в ковше аргоном;
- отбор проб стали для определения химического состава;
- измерение температуры стали;
- проведение вакуумной обработки стали;
- корректировка химического состава стали;
- измерение содержания водорода и активности кислорода в жидкой стали.

Установка вакуумирования стали позволяет добиваться глубокого удаления водорода в стали, однако его снижение ведет к значительному повышению затрат. Поэтому необходима корректировка технологии вакуумирования с учетом требований к различным маркам стали.

К большинству выплавляемых в условиях ЭСПЦ ОАО «Уральская Сталь» сталям предъявляются повышенные требования по содержанию водорода со стороны заказчика (менее 3 ppm), однако наиболее жесткие требования по содержанию водорода предъявляются к осевым маркам сталей (ОС) – менее 2,5 ppm.

С целью совершенствования технологии обработки на установке вакуумирования стали в работе проведен анализ ее работы для стали марки ОС за период с сентября по декабрь 2012 года по технологии: дуговая сталеплавильная печь – установка ковш-печь – установка вакуумирования стали (УВС) – машина непрерывного литья заготовок. В течение указанного периода было обработано 480000 т, из которых 12850 т (103 плавки) стали ОС.

Усредненные результаты обработки стали марки ОС на установке вакуумирования стали приведены в табл. 2.

Таблица 2

Усредненные результаты обработки стали марки ОС  
на установке вакуумирования стали

Показатель	Значение параметра*
Количество плавов, шт.	103
Содержание водорода, ppm	1,2–5,7 / 2,6
Длительность обработки на УВС, мин	29–61 / 41,6
Время обработки при глубоком вакууме (<0,5кПа), мин	10–25 / 16,79
Время набора глубокого вакуума, мин	3–14 / 6,4
Минимальное давление в камере, кПа	0,053–0,57 / 0,17
Расход аргона, м <sup>3</sup> /т	0,01–0,13 / 0,047
Температура перед УВС, °С	1591–1663 / 1616,7
Температура после УВС, °С	1544–1580 / 1554,8
Изменение температуры на УВС, °С	36–107 / 64,7
Скорость падения температуры на УВС, °С/мин	0,86–2,06 / 1,56
Уровень шлака в ковше, мм	50–400 / 116
Свободный борт, мм	50–950 / 394
* В числителе – диапазон, в знаменателе – среднее значение	

Показания рабочих параметров вакуумирования изменяются в широких пределах, что вызывает значительные колебания содержания водорода в стали от 1,2 до 5,7 ppm. Частота распределения содержания водорода по анализируемым плавкам приведена на рис. 1.

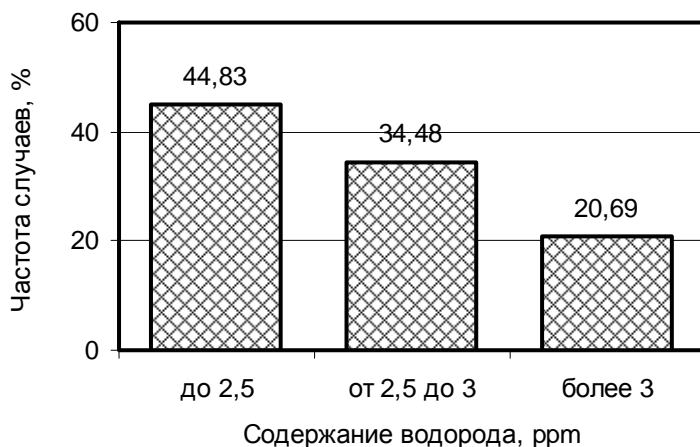


Рис. 1. Частота распределения содержания водорода

Как видно из рис. 1, требование по содержанию водорода не выполнено на 55% плавков, следовательно, необходимо совершенствовать технологию вакуумирования стали марки ОС.

На результат вакуумирования влияет большое количество факторов как технических, так технологических и организационных, однако влияние технических факторов при работе конкретного агрегата минимально.

С целью совершенствования технологии вакуумирования было выполнено исследование влияния на эффективность вакуумирования таких технологических параметров, как температура начала обработки, продолжительность вакуумирования, глубина вакуума, количество шлака, потери температуры, расход аргона.

Для выявления влияния основных параметров вакуумирования на удаление водорода был проведен регрессионный анализ производственных данных, в результате которого получено уравнение, позволяющее прогнозировать содержание водорода в различных условиях обработки:



$$[H] = 4,4085 + 0,082 \cdot \tau_{\text{в}} + 0,17 \cdot p_{\text{min}} - 1,151 \cdot v_{\text{ар}} + 0,0049 \cdot t_{\text{Me}} + 0,0033 \cdot h_{\text{шл}}, \quad (1)$$

где  $\tau$  – продолжительность глубокого вакуумирования, мин;  
 $p_{\text{min}}$  – минимальное давление в вакуум-камере, кПа;  
 $v_{\text{ар}}$  – расход аргона, м<sup>3</sup>/мин;  
 $t_{\text{Me}}$  – температура металла перед установкой вакуумирования стали, °С;  
 $h_{\text{шл}}$  – количество шлака в ковше, мм.

Полученное уравнение регрессии позволяет качественно и количественно оценить степень влияния каждого технологического параметра, а также прогнозировать остаточное содержание водорода при изменении какого-либо из параметров (в исследуемом диапазоне их варьирования).

Для детального изучения влияния каждого фактора в отдельности на содержание водорода построены графики, представленные на рис. 2–6.

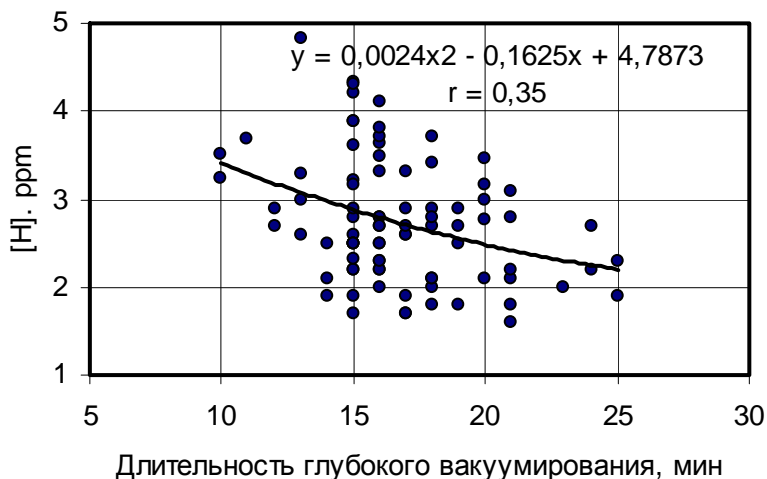


Рис. 2. Зависимость содержания водорода в стали от длительности глубокого вакуумирования

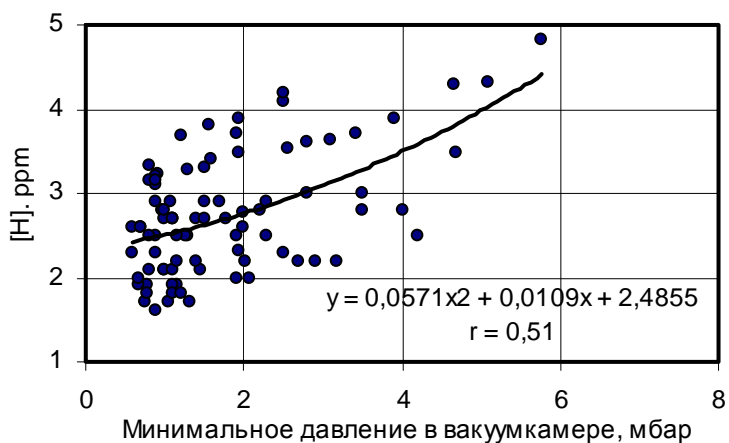


Рис. 3. Зависимость содержание водорода от минимального давления в вакуум-камере

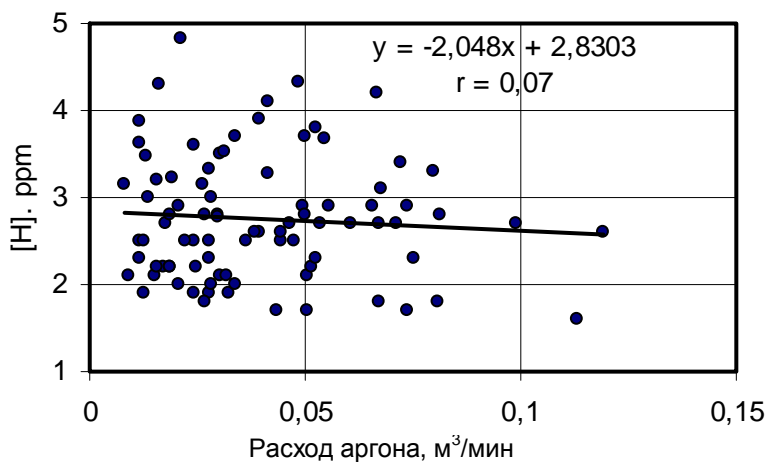


Рис. 4. Зависимость содержания водорода от расхода аргона

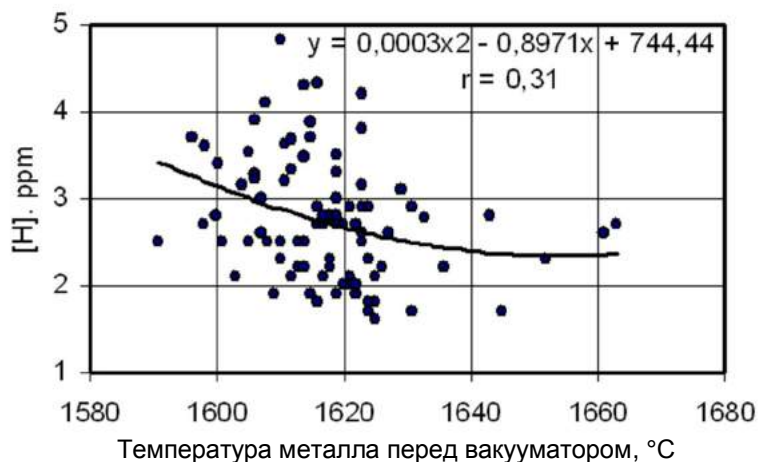


Рис. 5. Зависимость остаточного содержания водорода от температуры металла перед вакууматором

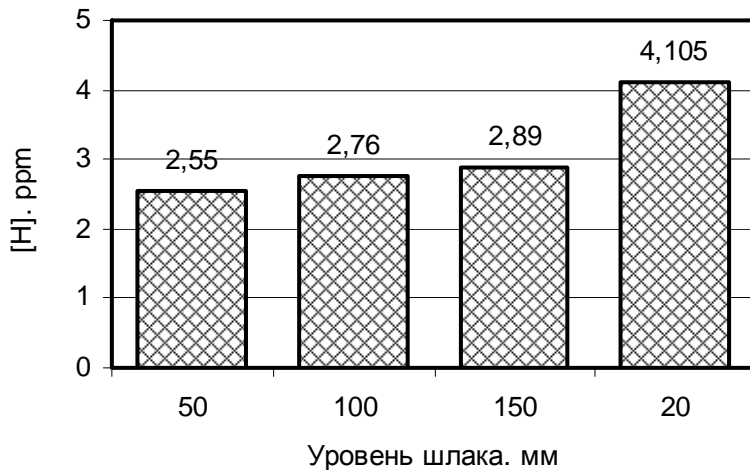


Рис. 6. Зависимость остаточного содержания водорода от уровня шлака в ковше

Из рис. 2 видно, что с увеличением длительности глубокого вакуумирования содержание водорода в стали уменьшается. При этом скорость удаления водорода уменьшается с понижением остаточного содержания водорода.

Из рис. 3 следует, что содержание водорода снижается с уменьшением давления в вакуум-камере. Таким образом, давление в камере является одним из весомых факторов, влияющих на содержание водорода в стали, и может быть использовано для регулирования процесса. На всех исследованных плавках продолжительность выдержки стали под глубоким вакуумом составляла от 10 до 25 мин. В то же время, общая длительность вакуумирования, которая включает набор вакуума и сброс давления, колебалась в достаточно широком диапазоне (от 29 до 61 мин). На исследованных плавках общий цикл вакуумирования составил в среднем 41 мин. Зависимость содержания водорода от этого фактора, практически, отсутствует. В то же время, при увеличении общей длительности вакуумирования снижается температура металла в ковше со скоростью в среднем 1,56 °С/мин. Таким образом, длительность вакуумирования на уровне 30–32 мин позволит уменьшить потери температуры на 10–17°С.

Из мировой практики известно, что при увеличении расходов аргона в ходе вакуумирования содержание водорода в стали уменьшается. Зависимость, которая получена в ходе проведенного исследования (рис. 4), не явная, однако не противоречит этому положению. Возможно, это объясняется способом подвода аргона к металлу.

Аргон подается в металл через пористые огнеупорные пробки, которые имеют максимальную пропускную способность 2,5 м<sup>3</sup>/т. Расход аргона по ходу вакуумирования обычно повышают. С целью повышения эффективности вакуумирования необходимо оптимизировать режим продувки аргоном, руководствуясь следующими положениями:

1. Откачку на низкий вакуум следует проводить за возможно более короткое время, добиваясь равномерного спокойного перемешивания с максимальным раскрытием «зеркала металла» и минимальным вспениванием поверхностного слоя. Поэтому на стадии понижения давления с начального уровня до 30–10 кПа достаточно подавать небольшое количество аргона на продувку.

2. По достижении давления 10–1 кПа и во время обработки стали глубоким вакуумом целесообразно увеличивать расход аргона до 0,10–0,15 м<sup>3</sup>/т для интенсификации массопереноса атомов водорода к поверхности.

3. На окончательной стадии вакуумирования необходимо проводить «мягкую» продувку ковша, в течение 2 мин, для достижения предельно низкого давления над поверхностью расплава, что обеспечивает удаление остаточного газообразного водорода на границе металл-газ и предотвращает обратную диффузию водорода в расплав по окончании обработки.

На удаление водорода значительное влияние оказывает температура обрабатываемого металла. Из рис. 5 следует, что повышение температуры металла до 1630°C улучшает условия удаления водорода, после чего влияние температуры уменьшается.

Кроме того, на эффективность вакуумирования существенно влияет уровень шлака (рис. 6). Пузыри газа, поднимающиеся сквозь расплавленный металл, образуют «фонтан» на поверхности резервуара, который отодвигает шлаковый слой к краям ковша. Если шлаковый слой достаточно тонкий, данный процесс приводит к образованию оголенной области жидкого металла, что способствует более тщательному удалению водорода из металла. Из рис. 6 видно, что с уменьшением уровня шлака в ковше остаточное содержание водорода в стали снижается.

Следовательно, для получения содержания водорода в стали ОС менее 2,5 ppm необходимо проводить вакуумирование при следующих параметрах:

- продолжительность в глубоком вакууме – 18 мин;
- минимальное давление в камере – 0,1 кПа;
- расход аргона – 0,05–0,10 м<sup>3</sup>/т;
- температура перед обработкой на установке вакуумирования стали 1625–1635°C;
- уровень шлака в ковше 100 мм.

При таких параметрах обработки прогнозируемое содержание водорода в стали ОС, в соответствии с уравнением (1) составит 2,49%.

В табл. 3 представлены данные обработанных плавок и рекомендуемые параметры для получения содержания водорода в стали ОС менее 2,5 ppm.

Таблица 3

Параметры обработанных данных и рекомендуемых

Показатель	Значение параметра	
	Обработанные плавки	Рекомендуемые параметры
Количество плавов, шт.	103	-
Содержание водорода, ppm	2,6	<2,5
Время обработки при глубоком вакууме (<0,5кПа), мин	16,79	18
Степень разряжения в камере, кПа	0,17	0,10
Расход аргона, м <sup>3</sup> /т	0,047	0,05–0,10
Температура перед УВС (Т <sub>1</sub> ), °С	1616,7	1630
Уровень шлака в ковше, мм	116	100
Свободный борт, мм	394	500

Таким образом, содержание водорода в стали определяется глубиной вакуума в камере, интенсивностью продувки стали в ковше аргоном, продолжительностью глубокого вакуумирования, уровнем шлака в ковше и температурой стали.

### Литература

1. Проблемы формирования качественной непрерывнолитой круглой заготовки на МНЛЗ / Калитаев А.Н., Тутарова В.Д., Шаповалов А.Н., Бажуков Д.О. // Изв. вузов. Черная металлургия. 2013. №5. С. 27–32.
2. Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. Изучение качества слябовой заготовки, отлитой на криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И.Носова. 2013. №1 (41). С.27–30.
3. Шевченко Е.В., Шаповалов А.Н. Проблемы получения качественной слябовой заготовки на МНЛЗ №2 ОАО «Уральская Сталь» // Вестник ЮУрГУ. Сер. Металлургия. 2013. Т. 13. № 1. С.68–73.

4. Совершенствование технологии непрерывной разливки стали с целью снижения пораженности проката дефектом «рванина» / Девятов Д.Х., Тутарова В.Д., Сафонов Д.С., Шаповалов А.Н.// Сталь. 2013. №6. С.13–16.

УДК 669.187.2.046.542

**А.Ф. Миляев, К.А. Долбилов**

Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

**Д.В. Лисичкин, Е.Х. Исебаев**

ЗАО «МРК» ОАО «ММК»

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ В 25 т ДСП**

С целью изучения и улучшения технологии плавки на ДСП-25 был проведен статистический анализ более 200 плавов низкоуглеродистых марок сталей (Ст25Л и Ст35Л), выплавленных в литейном цехе ЗАО «МРК» ОАО «ММК».

Расход металлических шихтовых материалов на плавку по видам колеблется в широких пределах в зависимости от их наличия на складе. Металлошихта включает от 10 до 90% брикетов (в среднем 12%), обрезь проката от 15 до 95% (в среднем 13,5%), собственные отходы от 5 до 100% (в среднем 14,35%), стальной лом от 8 до 100% (в среднем 60,6%), также в завалку вводят до 1,3% углеродсодержащих материалов (УСМ) с содержанием углерода около 60%. Загрузку шихты проводят в один – два приема с помощью бады через свод.

Длительность периодов плавки также колеблется в широких пределах (табл. 1). Нестабильность этих двух факторов сказывается на нестабильном содержании углерода в металле по расплавлению, которое изменяется от 0,15 до 1,8%.

Длительность завалки изменяется от 0,5 до 4 ч, что связано с низкой насыпной плотностью лома и слабой организацией завалки. Длительность плавления составляет от 1,0 до 5,66 ч, что определяется неустойчивой работой печи, нестабильностью шихтовки («замяканием» плавки) и организационными задержками. В то же время «мягкое расплавление» увеличивает длительность доводки

и плавки в целом. Особенно нестабильна длительность доводки из-за необходимости корректировать химический состав сплава до заданного.

Таблица 1

## Длительность периодов плавки

Периоды плавки	Пределы колебания, ч	Среднее, ч
Завалка	0,5–4,0	1,39
Плавление	1,0–5,66	2,88
Доводка	1,5–6,0	2,58
Всей плавки	3,99–11,15	6,85

В работе [1] было показано, что наиболее оптимальные длительности периодов плавки наблюдаются при  $\Delta C_{\text{дов}}=0,45-0,69\%$ . При таком  $\Delta C_{\text{дов}}$  отмечается пониженное содержание серы и фосфора в металле по расплавлению и меньший расход ферромарганца и ферросилиция на плавку. Работа печи с таким оптимальным избыточным содержанием углерода по расплавлению приводит к получению металла со сравнительно лучшими показателями предела текучести, предела прочности и ударной вязкости, что улучшает эксплуатационные свойства отливок.

Следует отметить, что корректировка содержания углерода в металле по расплавлению УСМ не дает стабильных результатов, а средняя степень усвоения УСМ составляет 43%. В то же время повышенное содержание серы в УСМ ведет к увеличению содержания серы в металле по расплавлению на 0,0023% при расходе 1% УСМ.

По ходу плавки содержание серы и фосфора уменьшается, что положительно характеризует процесс плавки. Средние содержания серы и фосфора в металле по расплавлению сравнительно низкие. В процессе доводки они снижаются: серы на 0,005%, фосфора на 0,004% (табл. 2).

Таблица 2

## Изменение содержания серы и фосфора (%) по ходу плавки

Элемент	Место отбора пробы				Изменение	
	по расплавлению	перед раскислением	конечное в печи	в ковше	$\Delta_{\text{дов}}$	$\Delta_{\text{пл}}$
S	0,023	0,018	0,017	0,017	-0,005	-0,006
P	0,015	0,011	0,015	0,019	-0,004	+0,004



Содержание фосфора при раскислении повышается на 0,004% за счет восстановления его из шлака и прихода фосфора из ферросплавов.

В существующих условиях единого литейного цеха ЗАО МРК на стенде внепечной обработки были опробованы варианты модифицирования металла путем обработки стали 25Л порошковыми проволоками с наполнителями СКБа10 и Forsteel-12 (FS), а также модификатором КР1. Химический состав модификаторов представлен в табл. 3.

Таблица 3  
Химический состав наполнителей порошковой проволоки

Марка	Химический состав, %					
	Ca	Si	Al	P3M	Ba	Fe
СКБа10	16,2	50,2	1,4	-	11,9	Ост.
Forsteel12	12,7	42,2	1,1	9,3	13,4	Ост
КР-1	Ост.	-	3,0	14,0	-	-

После выпуска металла в ковш, его ставили на стенд и с помощью трайб-аппарата в металл вводили порошковую проволоку (ПП). Внешний диаметр ПП равен 14 мм. Количество вводимой порошковой проволоки в ковш изменялось в широких пределах от 30 до 150 м, скорость ввода составляла 70–80 м/мин. Плотность проволоки марки Forsteel-12 составляет 290 г наполнителя на погонный метр, а СКБа 10–280 г/пог. м.

Также осуществляли продувку металла в ковше аргоном – малым напором в процессе ввода проволоки и повышенным (без оголения поверхности металла) напором в течение 5–8 мин после завершения подачи проволоки [2].

Модификатор КР1 вводят в ковш во время выпуска металла из печи после наполнения ковша примерно на ¼ часть объема. Также в ковш присаживается алюминий в количестве 1,0–1,5 кг/т, а для корректировки химического состава при необходимости добавляют ограниченное количество силикомарганца или 65-процентного ферросилиция.

Обобщенные данные по механическим свойствам стали 25Л по рассматриваемому массиву плавок представлены в табл. 4.

Таблица 4

Механические свойства стали 25Л  
при обработке различными модификаторами

Модификатор	Число плавок	Расход модиф., кг/т	Механические свойства				
			$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	KCU, Дж/м <sup>2</sup>
КР1	43	0,84	295,3	510,4	21,6	39,9	78,5
СКБа 10	24	0,98	278,5	506,6	16,7	38,5	77,3
СКБа + FS	61	0,07+ 0,95	289,9	501,3	23,2	43,7	87,3
FS	14	1,1	288,6	512,5	20,6	40,4	83,1
Без модифиц.	42	0	294,5	511	21,1	38,8	81,7

Изменение механических свойств по сравнению с немодифицированным металлом сведено в табл. 5. Увеличение свойств металла отмечено знаком «+», снижение – знаком «-».

Таблица 5

Изменение механических свойств стали 25Л  
при обработке различными модификаторами

Модификатор	$\Delta\sigma_b$	$\Delta\sigma_T$	$\Delta\delta$	$\Delta\Psi$	$\Delta KCU$
КР1	-*0,6/-0,1	+0,8/+0,3	+0,5/+2,4	+1,1/+2,8	-3,2/-3,9
СКБа 10	-5,4/-1,5	-16/-5,4	-4,4/-20,8	-0,3/-0,8	-4,4/-5,4
СКБа + FS	-9,7/-1,9	-4,6/-1,5	+2,1/+10,0	+4,9/+12,6	+5,6/+6,8
FS	+1,5/+0,3	-5,9/-2,0	-0,5/-2,4	+1,6/+3,0	+1,4/+1,7

Примечание. В числителе указаны изменения абсолютных значений свойства, в знаменателе – в % от свойств немодифицированного металла.

Из данных табл. 5 следует, что обработка модификаторами не дает существенного улучшения механических свойств металла, а в случае с модификатором СКБа10 заметно ухудшает их. Однако совместное использование модификаторов СКБа10 и FS улучшает пластические и вязкостные свойства стали 25Л.

Важными параметрами модифицирования являются тип применяемого модификатора и его расход. На рис.1 показано влияние на механические свойства стали расхода СКБа10 и СКБа10 совместно с Forsteel-12.

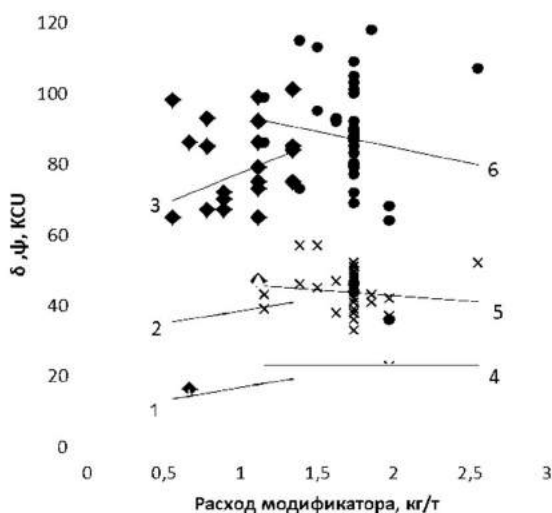
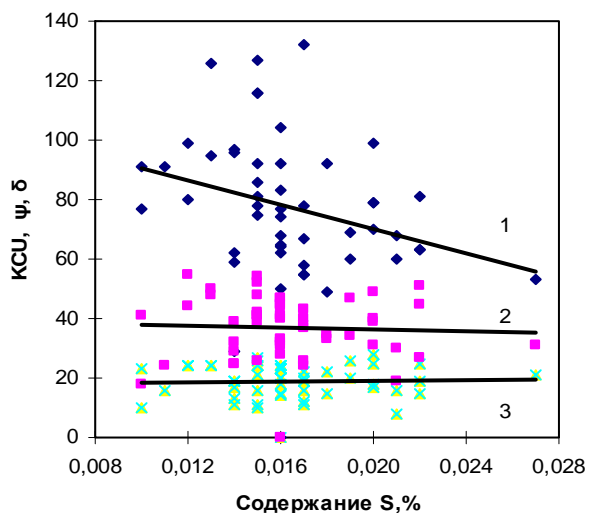


Рис. 1. Влияние расхода модификатора СКБа10 (1,2,3) и СКБа10+FS (4,5,6) на механические свойства стали:  $\delta$  (1,4);  $\psi$  (2,5); КСЧ (3,6)

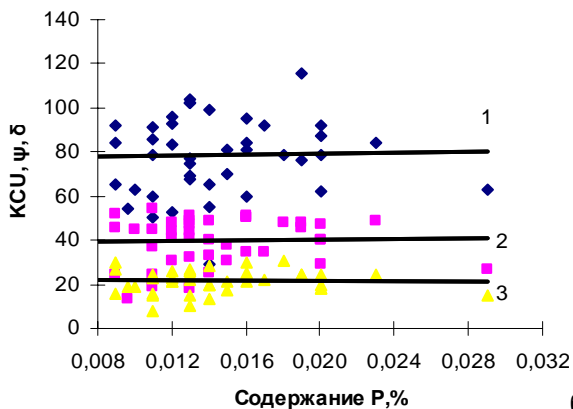
Из рис.1 видно, что при увеличении расхода модификатора СКБа 10 наблюдается положительная динамика роста механических свойств. При совместном вводе модификаторов СКБа10 и FS и увеличении их расхода наблюдается снижение механических свойств, но, в целом, они несколько выше, чем при модифицировании одним СКБа10. В данном случае следует говорить об отрицательном влиянии перемодифицирования расплава.

Проведенными исследованиями было установлено отрицательное влияние серы на ударную вязкость стали, в то время как относительное удлинение и сужение практически не зависят от содержания серы в пределах от 0,012 до 0,028% (рис.2). Это обу-

словлено тем, что в металле на границе зерен образуются сульфидные и окисульфидные неметаллические включения неблагоприятной формы.



а



б

Рис. 2. Влияние содержания серы (а) и фосфора (б) на ударную вязкость стали (1), относительное удлинение (2) и сужение (3)

Проведенные исследования показали, что для снижения длительности доводки и получения качественного металла требуется получение оптимального избыточного содержания углерода по расплавлению в пределах 0,45–0,69%. Оно может быть наиболее

лее эффективно достигнуто вдуванием в ванну порошкообразных углеродосодержащих материалов.

Для повышения важнейшего свойства отливок – ударной вязкости желательнее иметь содержание серы в металле ниже 0,020%.

Наибольший эффект модифицирования получен при совместном использовании модификаторов СКБа 10 и Forsteel-12.

### Литература

1. Рациональное содержание углерода в металле по расплавлению в ДСП-25 / А.Ф. Мильяев, А.Е. Степанова, Д.В. Лисичкин, А.В. Авдиенко, Д.М. Иванов // Литейные процессы: межрегион. сб. науч. тр. /под ред. В.М. Колокольцева. Вып. 9. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. С. 29–34.
2. Мильяев А.Ф., Лисичкин Д.В. Анализ механических свойств стали 25 Л, выплавляемой в электрической печи ДСП-25 // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр./под ред. В.М.Колокольцева. Вып.10. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2011. С. 117–120.
3. Механические свойства стали 25Л при внепечной обработке различными модификаторами / А.Ф. Мильяев, Д.В. Лисичкин, К.А. Долбиллов, А.В. Авдиенко, А.М. Сысоев, Е.Х. Исебаев // Литейные процессы: сб.науч. тр. /под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2011. Вып.10. С 17–22.

УДК 621.791.755

**А.Н. Емельяшин, А.Н. Морозов**

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

### СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПЛАЗМЕННО-УПРОЧНЁННЫХ ДИСКОВЫХ НОЖЕЙ

Повышение качества металлопроката является одной из основных задач отечественной металлургии. Этого невозможно достичь, не повысив эксплуатационную стойкость ножей холодной резки металлопродукции, так как брак, вызванный эксплуатацией пришедших в негодность ножей при порезке, приводит к наибольшим материальным затратам.

Целью данной работы является анализ свойств традиционных марок сталей для изготовления ножей и исследование возможности применения плазменной закалки для упрочнения ножей холодной резки металла.

Ножи холодной резки металла эксплуатируются в условиях высоких контактных нагрузок, наличия абразивных частиц и повышенной температуры зоны резания при знакопеременном цикле нагружения.

Стали, выбираемые для изготовления ножей, должны обладать следующими свойствами:

- высокой прочностью и вязкостью: ножи не должны изменять формы и разрушаться под действием больших удельных давлений и ударных нагрузок;
- удовлетворительной теплопроводностью, чтобы обеспечить быстрый отвод тепла, притекающего на поверхность ножа, и не допустить чрезмерного разогрева рабочей поверхности;
- удовлетворительная прокаливаемость.

В таблице приведён химический состав традиционно применяемой для изготовления ножей холодной резки стали 6ХВ2С и её более дешёвого заменителя – стали 6ХС.

Для получения комплекса свойств, обеспечивающих требуемую стойкость ножей, необходимо обоснованно подходить к выбору режимов их термической обработки. Повышение температуры закалки для стали 6ХВ2С с традиционно рекомендованной 860–900°C [1] сопровождается увеличением ударной вязкости после отпуска. Поэтому ножи из этой марки стали после закалки от температур 950–1000°C и отпуска отличаются лучшей сопротивляемостью воздействию динамических нагрузок. Повышение температуры закалки не приводит к значительному увеличению размера зерна аустенита, так как имеющиеся в стали карбиды вольфрама служат механическим препятствием для его роста, к тому же вольфрам, хром и кремний, входящие в состав этой стали, являются горофильными элементами и концентрируются по границам зёрен аустенита и уменьшают общую поверхностную энергию поликристаллического агрегата, а следовательно, снижают тенденцию зерна аустенита к росту. Рост зерна возможен лишь после перехода карбидов в твёрдый раствор при ещё большем увеличении температуры. По мере повышения температуры закалки степень легированности аустенита возрастает, что значительно увеличивает стойкость мартенсита при отпуске, т.е. повышает теплостойкость стали [2, 3].

Содержание легирующих элементов  
и температуры критических точек по ГОСТ 5950-2000

Марка стали	C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	W, %	A <sub>c3</sub> , °C	M <sub>n</sub> , °C
6ХВ2С	0,55–0,65	0,15–0,45	0,5–0,8	1,0–1,3	2,2–2,7	810	280
6ХС (ЭИ 325)	0,6–0,7	0,15–0,45	0,6–1,0	1,0–1,3	-	830	250

Зависимость твёрдости и ударной вязкости стали 6ХВ2С от температуры отпуска представлено на рис. 1. Закалку в масло производили от температур 950–980°С. Микроструктура стали непосредственно после закалки представлена мелкоигольчатым мартенситом с включениями карбидов и трудноразличимыми участками остаточного аустенита. Твёрдость составляет 56–58 HRC. После отпуска при температуре 500–550°С твёрдость снижается до 375–400 НВ, а структура представлена высокодисперсной троостосорбитной смесью. Высокая твёрдость (48–50 HRC) при одновременно удовлетворительной вязкости (26–29 Дж/см<sup>2</sup>) обеспечивается отпуском при 350°С. Микроструктура представляет из себя высокодисперсный троостит с ориентировкой по бывшим мартенситным кристаллам.

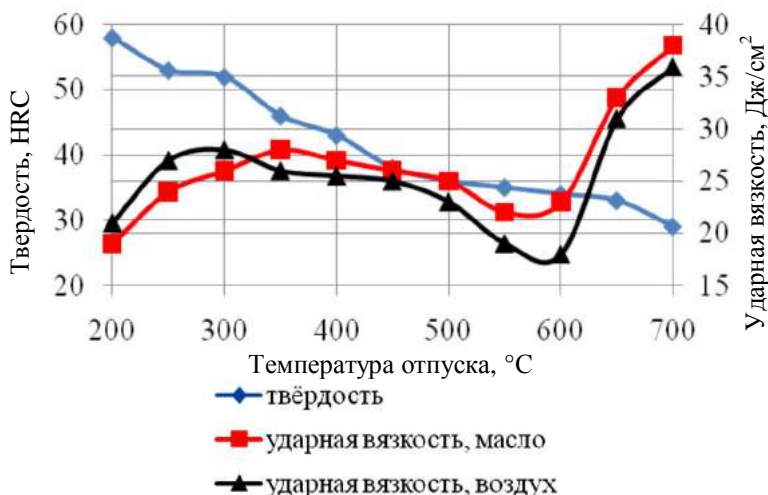


Рис. 1. Зависимость твёрдости и ударной вязкости стали 6ХВ2С от температуры и охлаждающей среды отпуска, при закалке от температуры 950–980°С в масло

Анализ приведённых кривых показал, что ускоренное охлаждение стали 6ХВ2С после отпуска не приводит к значительному повышению ударной вязкости, а это означает, что наблюдаемая хрупкость не является так называемой обратимой отпускной хрупкостью второго рода.

Несмотря на нахождение режимов термообработки, обеспечивающих необходимый комплекс свойств, разрушение ножей продолжало происходить.

Закалка от повышенных температур и ускоренное охлаждение после отпуска не способны привести к значительному повышению стойкости ножей. Повышение эксплуатационной стойкости ножей не превысило 30–40%, что не может удовлетворять современным требованиям. Разрушение происходило либо путём хрупкого разрушения всего ножа по крепёжным отверстиям и опасным сечениям, либо путём скалывания его рабочих кромок (рис. 2).

Существенным недостатком стали 6ХВ2С является присутствие в её составе дорого легирующего элемента – вольфрама. В качестве материала-заменителя можно предложить сталь марки 6ХС (ЭИ 325), которая является менее теплостойкой, однако в условиях резания без значительного нагрева режущей кромки её свойства не уступают свойствам стали 6ХВ2С.



Рис. 2. Характерные сколы на режущей кромке ножей

По классификации В.М. Гребеника [4], приведённой на рис. 3, данное разрушение поверхности ножей является усталостным и вызвано наличием естественных локальных концентраторов напряжений при односторонней изгибающей нагрузке.

Очевидно, что износ режущей кромки ножей происходит не по причине низкой ударной вязкости стали в целом, а по причине местного локального охрупчивания металла, происходящего при эксплуатации. Повысить стойкость ножей (рис. 4) возможно, устранив эти локальные концентраторы напряжений.

По нашему мнению, в ножевых сталях (высоколегированных в общем случае) локальными концентраторами напряжений являются не микротрещины, а твёрдые и хрупкие составляющие их микроструктуры – карбиды, а точнее, локальные скопления карби-



дов. Эти скопления показаны на рис. 5,а. Карбидная неоднородность оценена по 4 баллу (ГОСТ 8233).

Характер нагрузки вид нагрузки	Умеренное напряжение			Высокое напряжение		
	Естественный локальный концентратор	Слабый концентратор по окружности	Сильный концентратор по окружности	Естественный локальный концентратор	Слабый концентратор по окружности	Сильный концентратор по окружности
Растяжение						
Односторонний изгиб						
Двусторонний изгиб						
Изгиб при вращении						

Рис. 3. Характер хрупкого разрушения металлических материалов

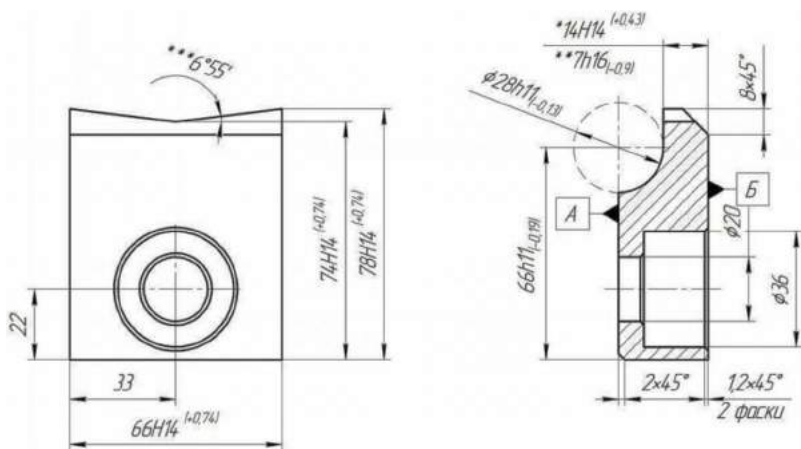


Рис. 4. Чертёж ножа холодной резки ленты

Устранение карбидной неоднородности является сложной задачей. Обработка рабочей поверхности – режущей кромки ножей высококонцентрированными источниками энергии приводит к растворению большинства карбидов и к получению максимально достижимой твёрдости стали на поверхности.

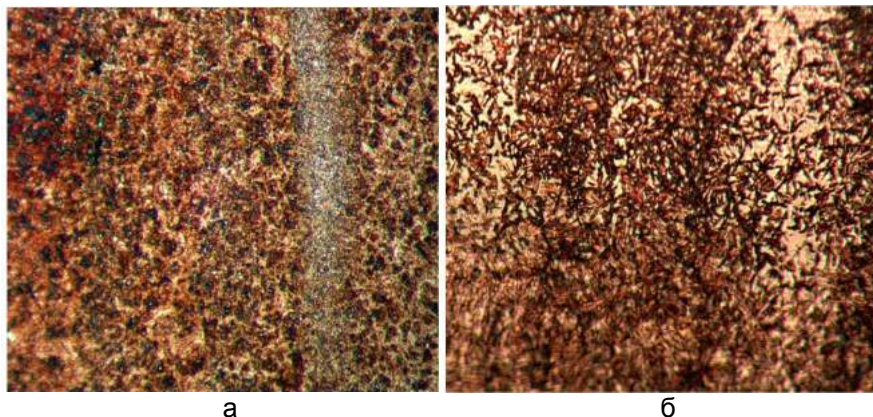


Рис. 5. Микроструктура стали 6ХВ2С:

а – до плазменной закалки,  $\times 200$ ; б – после плазменной закалки,  $\times 500$

Наиболее подходящим для реальных производственных условий является плазменная обработка. Аустенитизация при плазменном нагреве до температур значительно выше  $A_{c3}$  приводит к фазовой перестройке  $\alpha \rightarrow \gamma$  и неравновесному растворению карбидов, находящихся в микроструктуре, а последующее ускоренное охлаждение приводит к мартенситному превращению. При этом в местах, где ранее находились скопления карбидов, наблюдается образование аустенитных слоёв с незначительным количеством мартенсита. Микротвёрдость такого «легированного» аустенита составляет порядка 750–800 HV, что незначительно меньше, чем у мартенсита (900–1000 HV). Очевидно, что прослойки легированного аустенита уже не могут являться концентраторами напряжений и, даже наоборот, являются эффективным демпфером для распространения напряжений.

Двукратная плазменная закалка одного и того же участка металла приводит к некоторому исправлению структуры и образованию более равномерно распределённого мартенсита. При этом происходит некоторое увеличение глубины закалённого слоя.

Таким образом, плазменная закалка позволяет устранить наличие локальных концентраторов напряжений на рабочей поверхности ножа, в результате чего устраняется такой дефект, как сколы рабочей поверхности.

---

---

### Литература

1. Артингер И. Инструментальные стали и их термическая обработка. М.: Металлургия, 1982. 312 с.
2. Формирование структуры и свойств зоны сплавления при плазменно-порошковой наплавке покрытия типа 250X15Г200С / Емелюшин А.Н., Петроченко Е.В., Нефедьев С.П., Морозов А.Н. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Носова. 2011. № 3. С. 70 – 73.
3. Емелюшин А.Н., Петроченко Е.В., Нефедьев С.П. Сравнение структуры и свойств литых и наплавленных износостойких материалов // Литейные процессы: межрегион. сб. науч. трудов / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. С. 141–145.
4. Гребеник В.М., Цапко В.К. Повышение надежности металлургического оборудования: справочник. М.: Металлургия, 1988. 648 с.

УДК 621.746

**В.Б. Деев, К.В. Пономарева, С.А. Цецорина,  
А.В. Прохоренко, В.Н. Алхимов**

Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк

### ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЕЙНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С МОДИФИЦИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ

При литье металлов и сплавов в основном применяют модифицирование добавкой элементов-модификаторов, которое является универсальным, относительно дешевым, технологически гибким и высокоэффективным методом управления структурой кристаллизующегося сплава [1].

Модифицирование является важнейшей технологической операцией в процессе приготовления алюминиевых сплавов и проводится в целях улучшения структуры, получения сплавов с необходимыми эксплуатационными свойствами, что достигается измельчением структурных составляющих литого сплава,  $\alpha$ -твердого раствора, первичных кристаллов кремния и эвтектики.

Измельчение структурных составляющих литого сплава может быть достигнуто двумя основными путями: регулированием процесса образования в расплаве зародышей новой фазы, воздействием на кинетические параметры процесса роста кристаллов новой фазы.

Согласно предложенной П.А. Ребиндером [2] классификации модификаторов, вводимых в расплав, все многообразие модифицирующих добавок сведено к двум основным группам. К первой группе, или к модификаторам первого рода, относятся такие вещества, которые в расплаве образуют высокодисперсную коллоидную взвесь. Отдельные частицы этой взвеси являются зародышами, вокруг которых образуются и растут кристаллы. Для металлических расплавов такими модификаторами могут быть тугоплавкие металлы или их соединения, а также интерметаллиды, частицы которых могут находиться во взвешенном состоянии в предкристаллизационный период. Ко второй группе, или модификаторам второго рода, относятся элементы или их соединения, которые могут адсорбироваться на гранях зарождающихся кристаллов и тормозить их рост. Адсорбция не происходит на всех гранях равномерно, вследствие этого задерживаются в развитии отдельные грани кристалла, что приводит к изменению его формы. Кроме того, замедление скорости роста кристаллов сопровождается увеличением числа центров кристаллизации и повышением дисперсности структуры.

К группе поверхностно-активных примесей, измельчающих эвтектику в алюминиевых сплавах, в частности силуминах, относится натрий. Модифицирующее действие натрия на алюминий-кремниевые сплавы объясняют с позиций теории переохлаждения и адсорбционно-коллоидной теории [3]. При этом в работе [3] указывается, что эвтектика модифицированного натрием (в количестве 0,05%) сплава состоит из отдельных зерен – сферолитов, а «ведущей кристаллизацию фазой» является кремний. При введении в расплав большого (0,08–0,1%) количества натрия ведущая роль принадлежит алюминию, а сферолиты представляют собой дендриты алюминия, захватившие в процессе роста кристаллы кремния. Однако, как отмечают авторы работы [4], размер эвтектических зерен увеличивается практически пропорционально содержанию натрия. Для нейтрализации такого вредного влияния натрия и кальция предлагается [4] вводить сурьму, висмут, фосфор или элементы, стимулирующие процесс зарождения и рост дендритов твердого раствора, например, титан и бор. Взаимодействие натрия с фосфором исследовали в работе [5], при этом было выявлено, что соединения натрия с фосфором препятствуют эпи-

таксиальному нарастанию кремния, что приводит к возникновению модифицированной структуры.

Сначала для модифицирования силуминов применяли фтористый натрий, металлический натрий или его соединения, дающие надежный эффект измельчения эвтектического кремния в этих сплавах, о чем свидетельствуют исследования Г.В. Строганова с сотр., М.В. Мальцева, Л.Ф. Мондольфо [5 – 7], но из-за неравномерного распределения натрия в расплаве эти способы не нашли широкого применения.

Модифицирование солями позволяет получать более чистые сплавы, чем модифицирование натрием. В литейных цехах машиностроительных предприятий широко используется универсальный флюс (30% NaF + 50% NaCl + 10% KCl + 10% Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>) либо флюс (40–60% NaF + 25–45% NaCl + 15% Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>), который обеспечивает одновременное рафинирование и модифицирование расплава, а также двойной модификатор (67% NaF + 33% NaCl) и легкоплавкий тройной модификатор (25% NaF + 62,5% NaCl + 12,5% KCl) [5, 6]. Модифицирование силуминов заключается в том, что небольшие добавки натрия к сплаву вызывают сильное измельчение зерна. Натрий располагается на поверхности кластеров, служащих при определенных условиях центрами кристаллизации, и препятствует присоединению атомов к ним из разупорядоченной зоны. Происходящая в этом процессе сфероидизация кристаллов вызывает повышение механических свойств сплавов, в то время как в немодифицированных силуминах кристаллы выделяются в форме грубых игл или пластин, что вызывает снижение пластических свойств сплавов.

Однако при модифицировании силуминов натрием и его солями существует опасность получения не полностью модифицированной или перемодифицированной структуры, возможны снижение жидкотекучести расплава, повышенная склонность к газопоглощению. Но основным недостатком является ограниченное время выдержки расплава после ввода модификатора (обычно до 30 мин). Это связано с испарением и окислением легкоплавкого натрия и особенно неблагоприятно для серийного и массового производства литья из раздаточных печей, в которых обработанный натрийсодержащими флюсами расплав обеспечивает полностью модифицированную структуру лишь в начальный период разливки.

В настоящее время вместо натрия и его соединений широко применяют другие модификаторы алюминиевых сплавов, такие как бериллий, сурьма, барий, стронций и др. Существует достаточно много научных публикаций, посвященных особенностям модифицирования алюминиевых сплавов различными добавками и их влиянием на литейные, механические и служебные свойства [8 – 10].

На сегодняшний день модифицирование добавками имеет ряд недостатков, основными из которых являются отсутствие универсальности модификаторов, их экологическая небезопасность и относительно малое время действия. Нельзя не учитывать и факт изменения химического состава сплава после модифицирования, что в дальнейшем накладывает ряд ограничений по использованию данного сплава в последующих переплавах и создает необходимость проведения рафинирующих операций, которые требуют дополнительных затрат времени и денежных средств.

Выбор качества и количества модифицирующих добавок исследователи, как правило, осуществляют эмпирически, часто эти процессы не дифференцируются [11].

При использовании повышенного количества низкосортных материалов в шихте следует отметить, что в основном работы по модифицированию алюминиевых сплавов из вторичного сырья повторяют подобные работы, выполненные для сплавов из чушковых материалов.

Таким образом, согласно вышесказанному имеются все возможности для проведения эффективного модифицирования алюминиевых сплавов с целью повышения механических и технологических свойств литых деталей.

Следует отметить, что в последнее время исследователи все большее внимание уделяют способам получения модифицированной структуры алюминиевых сплавов без введения специальных модифицирующих добавок. К таким способам можно отнести тепловые воздействия (ТВО, ТСО, ВТОР и другие разновидности [12, 13]); различные виды электромагнитных воздействий [14, 15]; ультразвуковую обработку [16] расплава и другие. В отличие от применения элементов-модификаторов, физические (внешние) воздействия на расплавы при плавке и кристаллизации позволяют получить модифицирующий эффект в сплавах с измельчением структуры и повышением механических свойств, без изменения химического состава.

Разработаны и в производственных условиях реализованы [17 – 19] ресурсосберегающие технологии получения алюминиевых сплавов (АК7ч, АК12, АК5М2, АМ5) и высококачественных отливок из них (при литье в кокиль, в песчано-глинистые формы), с использованием физических воздействий: ТВО, ТСО, комплексной обработки расплавов (ТВО и рафинирование хлористым марганцем, флюсом «МХЗ», препаратом «Дегазер»; ТВО и магнитное поле при заливке; ТВО и электрический ток при кристаллизации); использованием шихтовой заготовки с эффектом ТВО. Технология

ТВО была успешно опробована и при подготовке расплава при литье по газифицируемым моделям.

### Литература

1. Давыдов С.В., Панов А.Г., Корниенко А.Э. Рынок модификаторов – хаос или развитие? // *Металлургия машиностроения*. 2006. № 3. С. 8–9.
2. Гуляев Б.Б. Теория литейных процессов. Л.: Машиностроение, 1976. 216 с.
3. Альтман М.Б., Лебедев А.А., Чухров И.В. Плавка и литье легких сплавов. М.: *Металлургия*, 1969. 680 с.
4. Влияние примесей на формирование сферолитов в алюминиевых литейных сплавах / А.В. Курдюмов, С.В. Инкин, В.Д. Белов и др. // *Интенсификация литейных процессов и улучшение качества литых заготовок в производстве экономичных профилей из цветных металлов и сплавов: труды ин-та Гидроцветметобработка*. М.: *Металлургия*, 1986. С. 36.
5. Строганов Г.Б., Ротенберг В.А., Гершман Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием. М.: *Металлургия*, 1977. 272 с.
6. Мальцев М.В. Модифицирование структуры металлов и сплавов. М.: *Металлургия*, 1964. 214 с.
7. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. М.: *Металлургия*, 1979. 640 с.
8. Вахобов А.В., Ганиев И.Н. Стронций – эффективный модификатор силуминов // *Литейное производство*. 2000. № 5. С. 28–29.
9. Барий – новый модификатор силуминов / Т.Б. Каргаполова, Х.А. Махмадуллоев, И.Н. Ганиев, М.М. Хақдодов // *Литейное производство*. 2001. № 10. С. 9–10.
10. Белов В.Д. Плавка и литье заэвтектических силуминов. М.: *МИСиС*, 2003. 85 с.
11. Ершов Г.С., Бычков Ю.Б. Высокопрочные алюминиевые сплавы на основе вторичного сырья. М.: *Металлургия*, 1979. 192 с.
12. Влияние температуры перегрева на распределение компонентов в структуре силумина / Э.Х. Ри, Хосен Ри, С.Н. Химухин, М.Е. Калугин // *Металлургия машиностроения*. 2010. № 5. С. 43–45.
13. Попель П.С., Чикова О.А., Бродова И.Г. О возможности воздействия на наследственную микрогетерогенность расплавов // *Металлургия машиностроения*. 2010. № 2. С. 12–15.
14. Заббаров Р., Бибииков А.М., Живодёров В.М. Структурные изменения и свойства алюминиевых сплавов, обработанных

- магнитным полем // *Металлургия машиностроения*. 2009. № 6. С. 25–27.
15. Тимченко С.Л., Задорожный Н.А. Влияние электрического тока на кристаллизацию алюминиевого сплава // *Литейное производство*. 2005. № 9. С. 12–13.
  16. Эскин Г.И. Ультразвуковая обработка расплавов легких сплавов: настоящее и будущее // Докл. науч.-техн. конф. «Ультразвуковые технологические процессы – 98». М., 1998. С. 113–116.
  17. Деев В.Б. Получение герметичных алюминиевых сплавов из вторичных материалов: монография. М.: Флинта, Наука, 2006. 218 с.
  18. Деев В.Б. Влияние электромагнитных воздействий на свойства литейных алюминиевых сплавов // *Вестник горно-металлургической секции РАЕН: сб. науч. тр. Вып. 27*. М.: Новокузнецк: СибГИУ, 2011. С. 117–122.
  19. Эффективные технологии обработки расплавов при получении литейных алюминиевых сплавов / В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, Ри Хосен и др. // *Литейщик России*. 2012. № 10. С. 14–17.

УДК 669:18.001

### **Д.С. Сергеев**

Магнитогорский государственный технический университет им Г.И. Носова

## **УЛУЧШЕНИЕ УПРАВЛЯЕМОСТИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫМ РАФИНИРОВОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ**

Сегодня в современном кислородно-конвертерном производстве стали необходимо искать новые методы повышения выхода годного полупродукта и контроля за общим процессом. В частичном решении данного вопроса рассматривается технология, внедренная на японском заводе Оита, представляющая собой многофункциональный процесс, включающий предварительную обработку жидкого чугуна в агрегате типа конвертера (процесс MURC, multirefining converter), разработанный фирмой «Nippon Steel» в 1999 г. На первом этапе обработки чугуна производится удаление кремния и дефосфорация, на втором этапе после скачивания шлака проводится обезуглероживание расплава (т.е. выне-



сен период шлакообразования, в результате чего уменьшены потери железа со шлаком). Конвертер оборудовали двумя измерительными устройствами: микроволновым измерителем уровня и шумомером (см. рисунок). С их помощью удалось стабилизировать вспенивание шлака при обескремнивании и дефосфорации, повысить точность управления окончанием продувки.

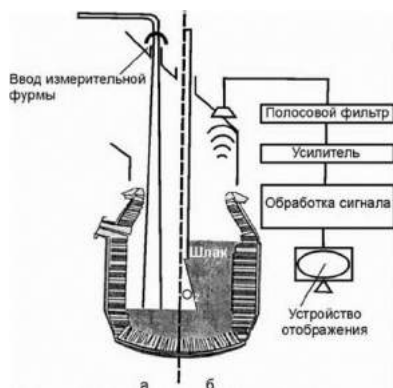


Схема микроволнового измерителя уровня (а)  
и схема системы измерения шума (б)

По окончании этапа продувки предусмотрен наклон конвертера и промежуточное скачивание вспененного шлака, уровень которого близок к горловине конвертера. Необходимым условием эффективного удаления шлака является оптимальное управление вспениванием, обеспечивающим надежное разделение металла и шлака. Применявшийся ранее метод стабилизации путем удерживания основности в узких пределах имел два серьезных недостатка:

- из-за износа футеровки и различия параметров плавки расстояние от фурмы до поверхности ванны различалось от плавки к плавке, что вызывало нестабильность режима вспенивания;
- невозможность наблюдать процесс в конвертере не позволяла принимать решения в процессе продувки (при слабом вспенивании невозможно его эффективное удаление, а при чрезмерно сильном возможны выбросы).

Прежний метод измерения уровня ванны погружаемым зондом имел значительные ограничения. Например, во избежание повреждений приходилось задавать высокую долю жидкого чугуна в завалке. Также имелись ограничения в периодичности замеров.

Применение микроволнового измерителя позволило осуществить непрерывный контроль положения уровня ванны, на основании чего своевременно изменять высоту подъема фурмы, стабилизируя шлаковый режим.

В дополнении данного метода контроля также возможно использование лазерного сканера износа самой футеровки.

Преодолеть второй недостаток прежнего метода контроля за плавкой позволило внедрение системы измерения уровня шума при работе конвертера, в результате чего удалось оценивать вероятность выброса шлака и более эффективно определять момент окончания продувки.

Хотя в настоящий момент внедрение данного решения представляет определенные трудности, в скором времени оно сможет стать эффективным инструментом металлургии нового поколения, несущим за экономическими затратами новый шаг к сбалансированному повышению выхода годного.

УДК 662.87:622.765.061.22

**В.Н. Петухов, Э.Ф. Буранова, С.К. Сибатуллин**

Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

### **ПОДГОТОВКА ПУТ НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ГРУППОВОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕАГЕНТОВ-ВСПЕНИВАТЕЛЕЙ НА РЕЖИМ ФЛОТАЦИИ**

Дефицит и высокая стоимость высококачественных марок коксующихся углей, а также отсутствие природного газа в ряде стран обуславливают необходимость увеличения использования пылеугольного топлива (ПУТ) на металлургических предприятиях [1–3].

К пылеугольному топливу предъявляют ряд требований: содержание серы должно быть менее, чем в используемом коксе, теплотворная способность не менее 30000 кДж/кг, влажность менее 1,2%, зольность менее 10%, оптимальное содержание летучих [1, 2] с учётом формирования в доменной печи определяющих зон по силовому взаимодействию потоков шихты и газа [4, 5]. Рассмотрена возможность использования увлажнённого до 10 – 12%

ПУТ, что эквивалентно влажности дутья  $10 - 20 \text{ г/м}^3$ . Использование влаги является одним из средств организации доменного процесса для работы на высоконагретом обогащённом кислородом дутье [6], в связи с чем технология с увлажнением ПУТ может быть приемлемой. Нами исследовано влияние группового химического состава реагентов-вспенивателей на процесс флотации углей различных марок с целью получения концентратов с зольностью, сниженной до допустимых норм, предъявляемых к ПУТ.

Для флотации использовали угли Кузнецкого угольного бассейна с зольностью 18,4% и Карагандинского угольного бассейна с зольностью 30,5%.

Наилучшие качественно-количественные показатели флотации Кузнецкого угля были получены в случае использования реагента-вспенивателя КО ЭТС-32. При расходе КО ЭТС-32 в количестве 0,04 кг/т выход концентрата составил 83,6% зольностью 8,6% при извлечении горючей массы в концентрат в количестве 95%; зольность отходов составила 70,2%.

В случае использования в качестве вспенивателя кубовых остатков бутиловых спиртов (КОБС) показатели флотации ухудшились. Выход концентрата уменьшился с 83,6 до 81,5% при одновременном повышении зольности концентрата на 0,6%. Зольность отходов снизилась до 61,1%, а извлечение горючей массы уменьшилось на 4%.

Такие же закономерности получены при использовании в качестве вспенивателя КЭТГОЛа, выход концентрата уменьшился на 1,3%, с повышением его зольности на 0,4% по сравнению с использованием КО ЭТС-32. Зольность отходов снизилась до 65,3%, а извлечение горючей массы составило 93,1%, что на 1,9% меньше, чем при использовании КО ЭТС-32.

Выявление данных результатов связано с особенностями группового химического состава используемых реагентов-вспенивателей. Например, в состав КОБС входит смесь 2-этилгексанола и других октиловых спиртов, альдегидов, ацеталей, эфиров и небольшое количество ненасыщенных углеводородов. Аналогично в состав КЭТГОЛа входит смесь первичных спиртов алифатического и этиленового ряда и альдегидов изостроения. Они являются эффективными гетерополярными спиртовыми флотационными реагентами с количеством углеродных атомов от 6 до 9. Но если заменить атом углерода в бициклических ацеталах на атом кремния, то это приведёт к повышению флотируемости углей, т.к. наиболее высокой флотационной активностью обладают би-

циклические кремнийорганические соединения, содержащие в молекуле фенильный радикал, как в составе КО ЭТС-32, в который входят олигоэтоксисиланы, диметилизоалкилоксисиланы тетраэтоксисилан, бис (триметилсилоксигексан).

Таким образом, исследованием установлено, что наиболее высокую эффективность и селективность действия при флотации кузнецкого угля проявляет реагент-вспениватель КО ЭТС-32. Использование его вместо реагентов-вспенивателей КОБС и КЭТГОЛа позволяет повысить выход концентрата на 1,3–2,1% (рис. 1).

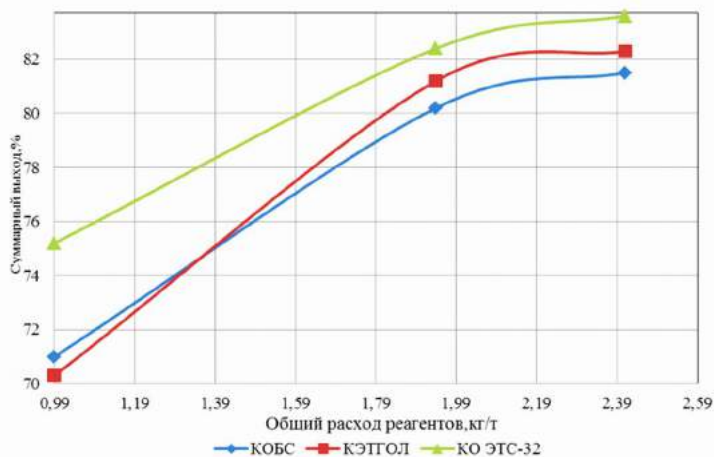


Рис.1. Влияние расхода реагентов на выход концентрата

Применение в качестве реагента-вспенивателя КО ЭТС-32 позволяет улучшить селективность процесса по сравнению с КОБС. Например, при равном выходе концентрата 83% зольность его снижается при использовании КО ЭТС-32 на 0,2–0,7% по сравнению с использованием в качестве реагентов-вспенивателей КЭТГОЛа и КОБС (рис. 2).

Кроме того, применение КО ЭТС-32 позволит уменьшить потери органической массы с отходами флотации. Зольность отходов при использовании реагентов-вспенивателей КО ЭТС-32 повышается с 61,1–65,3 до 70,2%. Реагентный режим и показатели флотации представлены в табл.1.

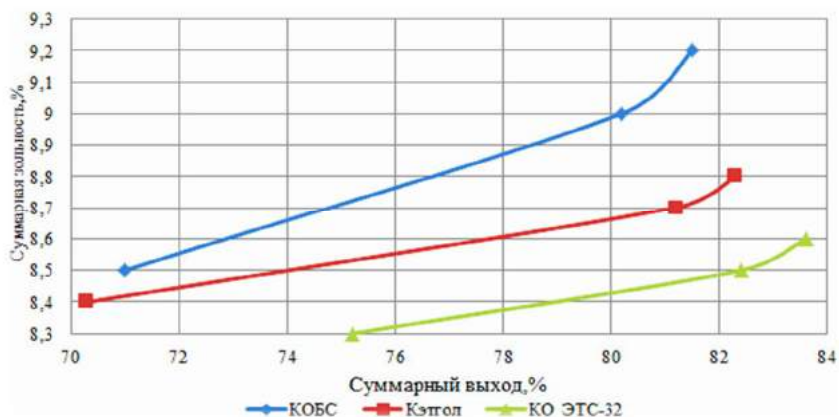


Рис.2. Взаимосвязь суммарного выхода концентрата с его зольностью

Согласно результатам проведенных экспериментов наилучшие показатели получены при флотации угля с использованием КО ЭТС-32 в качестве реагента-вспенивателя. При этом извлекается 95% горючей массы в концентрат (табл.1).

Такие же закономерности получены при флотации углей Карагандинского бассейна, где при равном расходе реагентов в количестве 1,96 кг/т выход концентрата в случае использования в качестве вспенивателя КО ЭТС-32 повышается на 2,5% по сравнению с использованием в качестве вспенивателя КЭТГОЛа, при одновременном снижении зольности концентрата на 0,7%. Извлечение горючей массы в концентрат повысилось на 3,8%, а зольность отходов – на 4,6% (табл. 2).

Таким образом, в ходе исследования влияния группового химического состава реагентов-вспенивателей на показатели флотации углей установлено, что лучшие показатели флотации получены при использовании в качестве реагента-вспенивателя КО ЭТС-32, содержащего в групповом химическом составе алкилосиланы. Кроме того, при флотации угля Кузнецкого бассейна марки «ОС» использование реагента-вспенивателя КО ЭТС-32 с термогазойлем уменьшает выход концентрата на 2,1% по сравнению с использованием широко применяемого реагента – вспенивателя КЭТГОЛа с термогазойлем. При этом улучшается селективность процесса, зольность концентрата снижается с 9,2 до 8,6%, а золь-

ность отходов повышается с 61,1 до 70,2%. Общее извлечение горючей массы в концентрат увеличивается на 4%. Проведённые исследования позволили разработать технологический режим флотации угольной мелочи, позволяющий получать ПУТ, удовлетворяющий требованиям доменного производства.

### Литература

1. Сучков А.В., Лисиенко В.Г., Дмитриев А.Н. Исследование работы доменных печей при вдувании угольной пыли // Творческое наследие Б.И. Китаева: труды Междунар. науч.-практ. конференции. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. С. 267–274.
2. Харахулах В.С., Старовойт А.Г., Изюмский Н.Н. Проблемы доменного производства Украины и пути их решения при вводе технологии вдувания ПУТ // Доменное производство – XXI век: труды Междунар. конгресса доменщиков. Москва: Издательский дом «Кодекс», 2010. С. 92–98.
3. Тирьон К., Суворов М., Шмит Л. О комплексном подходе при вдувании ПУТ в доменные печи // Доменное производство – XXI век: труды Междунар. конгресса доменщиков. Москва: Издательский дом «Кодекс», 2010. С. 80–91.
4. Сибгатуллин С.К., Майорова Т.В. К расчету показателей хода доменного процесса при повышенном общем перепаде давления газов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. № 3. С. 16–18.
5. Сибгатуллин С.К., Ваганов А.И., Логачёв Г.Н. Ход восстановления по высоте печи при различном содержании железа в шихте // Литейные процессы: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. Вып. 8. С. 108–115.
6. Сибгатуллин С.К., Середникова Е.И. Технологическая роль повышенного нагрева дутья // Производство чугуна: межвуз. сб. Свердловск: УПИ, 1979. Вып.5 .С.135–140.

Таблица 1

Показатели флотации угля Кузнецкого бассейна  
с использованием различных реагентов-вспенивателей

Реагентный режим					Показатели флотации						ξ	
Вспениватель	Собира- тель	Расход реагента, кг/т			Продукты	Вес,г	γ, %	Золь- ность, %	Σγ, %	ΣА, %		
		соби- рателя	вспе- нива- теля	об- щий								
КОБС	Термога- зойль	0,95	0,04	0,99	Концентрат 1	40,5	71,0	8,5	71,0	8,5	80,6	
		0,95		1,94	Концентрат 2	4,6	9,2	13,4	80,2	9,0	88,9	
		0,47		2,41	Концентрат 3	0,6	1,3	20,1	81,5	9,2	91,0	
					Отходы	4,3	18,5	61,1	100	18,4		
					Исходный	50,0	100	18,4				
КЭТГОЛ	Термога- зойль	0,95	0,04	0,99	Концентрат 1	40,7	70,3	8,4	70,3	8,4	81,4	
		0,95		1,94	Концентрат 2	4,4	8,9	12,5	81,2	8,7	87,9	
		0,47		2,41	Концентрат 3	0,6	1,1	18,7	82,3	8,8	93,1	
					Отходы	4,3	19,7	65,3	100	18,4		
					Исходный	50,0	100	18,4				
КО ЭТС-32	Термога- зойль	0,95	0,04	0,99	Концентрат 1	42,6	75,2	8,3	75,2	8,3	86,3	
		0,95		1,94	Концентрат 2	2,6	7,2	10,8	82,4	8,5	93,7	
		0,47		2,41	Концентрат 3	0,6	1,2	15,5	83,6	8,6	95,0	
					Отходы	4,2	16,4	70,2	100	18,4		
					Исходный	50,0	100	18,4				

Таблица 2

## Показатели исследования флотации высокоминерализованных углей

Реагентный режим					Показатели флотации					
Собиратель	Вспениватель	Расход реагента, кг/т			Продукты	γ, %	Зольность, %	Σγ, %	ΣA <sup>d</sup> , %	ξ
		Собиратель	Вспениватель	Общий						
Термогазойль	КЭТГОЛ	1,88	0,06	1,96	Концентрат 1	55,6	10,4	55,6	10,4	71,7
					Концентрат 2	5,1	15,6	60,6	10,8	77,8
					Отходы	39,4	60,8	100	30,5	
					Исходный	100	30,5			
Термогазойль	КО ЭТС-32	1,88	0,06	1,96	Концентрат 1	56,8	9,8	56,8	9,8	73,7
					Концентрат 2	6,3	12,4	63,1	10,1	81,6
					Отходы	36,9	65,4	100	30,5	
					Исходный	100	30,5			

Примечание. ΣA<sup>d</sup> – суммарная зольность; γ – выход концентрата; Σγ – суммарный выход; ξ – извлечение горючей массы в концентрат.



УДК 621.74.047

**Е.А. Шевченко, А.М. Столяров**Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова**А.Н. Шаповалов**

Новотроицкий филиал НИТУ «МИСиС»

### **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫПУКЛОСТИ УЗКИХ ГРАНЕЙ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ СЛЯБОВ НА КАЧЕСТВО ЛИСТОВОГО ПРОКАТА**

На современном этапе развития производства предъявляются все более высокие требования к качеству готовой металлопродукции [1, 2]. Одним из характерных дефектов непрерывнолитых слябов сечением 270×1200 мм, отливаемых в электростале-плавильном цехе ОАО «Уральская Сталь», является выпуклость узких граней, составляющая от 2 до 10 мм. Наличие данного дефекта на слябе может оказывать существенное влияние на качество готового листового проката.

Для изучения влияния степени развития выпуклости узких граней слябов на величину отбраковки горячекатаных листов толщиной 8 – 50 мм был создан и проанализирован массив производственных данных из 149 плавов стали марок 09Г2С, 10ХСНД и класса прочности К52. Металл разливался на слябы сечением 270×1200 мм.

Основные технологические параметры непрерывной разливки металла приведены в табл. 1.

Из представленных данных видно, что разливаемый металл имел достаточно высокое содержание растворенных газов: азота и водорода. В промежуточном ковше одноручьевой слябовой МНЛЗ средняя величина перегрева металла над температурой ликвидус равнялась 22°С, а ее максимальное значение составляло 30°С, что превышало рекомендуемую технологической инструкцией верхнюю границу, равную 25°С. Разливка перегретого металла с практически неизменной скоростью вытягивания заготовки сечением 270×1200 мм явилась одной из основных причин образования выпуклости узких граней слябов [3, 4].

Все заготовки, имеющие выпуклость узких граней, были разделены на три группы: слябы с выпуклостью менее 5 мм, от 5 до 8 мм и более 8 мм.

Таблица 1

Основные технологические параметры  
непрерывной разливки металла на слябы сечением 270×1200 мм

Параметр	Значение*
Количество плавов, шт.	149
Содержание в металле: азота, % водорода, ppm	0,006–0,014 4,3–9,6
Температура металла в промежуточном ковше, °С	<u>1523–1543</u> 1534
Величина перегрева металла в промежуточном ковше, °С	<u>11–30</u> 22
Скорость вытягивания сляба из кристаллизатора, м/мин	<u>0,8–1,0</u> 0,90

\* Числитель – интервал изменения параметра,  
знаменатель – среднее значение параметра

Отбраковка горячекатаных листов производилась при наличии следующих дефектов:

- плена;
- рванина;
- трещина;
- сетчатая трещина;
- неметаллические включения;
- расслой;
- ультразвуковой контроль (УЗК);
- газовые пузыри;
- другие дефекты.

Кроме того, оценивалась общая отбраковка листового проката.

Результаты анализа величины отбраковки горячекатаных листов после прокатки слябов 149 плавов показаны в табл. 2.

Из табл. 2 следует, что значительная часть горячекатаного листа – около 61% (отн.) была отбракована по причине неудовлетворительных результатов ультразвукового контроля (УЗК) и рванины.

Таблица 2

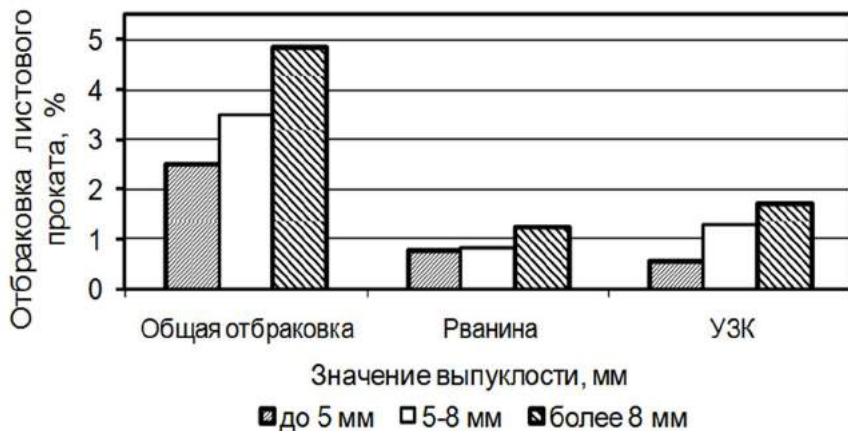
Отбраковка листового проката из слябов сечением  
270×1200 мм с различной выпуклостью узких граней

Вид дефекта	Величина отбраковки листового проката (%) из слябов с выпуклостью узких граней			Средняя величина отбраковки, %
	менее 5 мм	5 – 8 мм	более 8 мм	
	Количество плавок, шт.			
	50	65	34	
Плена	0,212	0,226	0,264	0,231
Рванина	0,794	0,829	1,253	0,894
Трещина	0,151	0,231	0,306	0,236
Сетчатая трещина	0,671	0,752	1,145	0,809
Неметаллические включения	0,073	0,013	0,039	0,022
Расслой	0,018	0,004	0,012	0,006
УЗК	0,561	1,301	1,716	1,308
Газовые пузыри	0,002	0,016	0,012	0,015
Другие дефекты	0,020	0,113	0,097	0,103
Общая отбраковка	2,501	3,484	4,844	3,624

Самая большая отбраковка – в 36% случаев производилась вследствие ультразвукового контроля.

Анализ полученных данных показывает, что отбраковка листов по большинству рассмотренных дефектов возрастает с увеличением величины выпуклости узких граней непрерывнолитой заготовки. Общая отбраковка листового проката при этом увеличивается с 2,5 до 4,84%, то есть, практически, вдвое. Особенно сильно влияние выпуклости граней заготовки на отбраковку заметно для неудовлетворительных результатов УЗК и рванины (рисунок).

Для статистической значимой оценки выявленного влияния была проведена проверка гипотезы о равенстве средних значений выборок данных по отбраковке листов, прокатанных из слябов сечением 270×1200 мм с различной выпуклостью узких граней. Данная оценка производилась после расчета средних значений и дисперсии каждой выборки с использованием критериев Фишера (F-критерий) и Стьюдента (t-критерий).



Зависимость величины отбраковки горячекатаных листов от выпуклости узких граней непрерывнолитых слэбов сечением 270×1200 мм

Результаты оценки по общей отбраковке листов, отбраковке по неудовлетворительному УЗК и отбраковке по рванине приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты проверки гипотезы о равенстве средних значений отбраковки листов, прокатанных из слэбов сечением 270×1200 мм с разной выпуклостью узких граней

Параметр	Выпуклость узких граней слэбов, мм					
	менее 5	остальные	5 – 8	остальные	более 8	остальные
Количество плавок	50	99	65	84	34	115
Общая отбраковка листов: среднее значение, %	2,50	4,04	3,48	3,31	4,84	3,24
дисперсия, % <sup>2</sup>	7,09	10,60	12,91	7,54	5,89	10,62
F-критерий	1,49		1,71		1,80	
F <sub>0,05</sub>	1,53		1,46		1,64	
t-критерий	2,90		2,11		2,70	
t <sub>0,05</sub>	1,98		1,98		1,99	

Окончание табл. 3

Параметр	Выпуклость узких граней слябов, мм					
	менее 5	осталь ные	5 – 8	осталь ные	более 8	осталь ные
Отбраковка по УЗК: среднее значе- ние, %	0,58	1,47	1,30	1,08	1,72	1,06
дисперсия, % <sup>2</sup>	1,17	4,58	6,11	1,61	1,73	4,11
F-критерий	3,91		3,79		2,37	
F <sub>0,05</sub>	1,53		1,47		1,65	
t-критерий	3,37		2,15		2,41	
t <sub>0,05</sub>	1,98		1,98		1,99	
Отбраковка по рванине: среднее значе- ние, %	0,79	0,97	0,83	1,04	1,25	0,85
дисперсия, % <sup>2</sup>	0,369	2,537	2,92	0,685	0,624	2,685
F-критерий	6,87		4,26		4,29	
F <sub>0,05</sub>	2,44		1,63		1,81	
t-критерий	2,15		2,07		2,18	
t <sub>0,05</sub>	1,98		1,98		1,99	

В таблице представлены данные о критических значениях критериев Фишера и Стьюдента  $F_{0,05}$  и  $t_{0,05}$  для уровня значимости ошибки 5%.

Из табл. 3 видно, что как для общей отбраковки листов, так и для отбраковки по результатам УЗК и по рванине расчетные значения t-критерия превышают его критические значения. Это свидетельствует о том, что гипотеза о равенстве средних значений рассмотренных выборок отвергается. Таким образом, с вероятностью 95% можно утверждать, что выпуклость узких граней слябов сечением 270×1200 мм оказывает статистически значимое влияние на отбраковку горячекатаных листов. С увеличением выпуклости узких граней непрерывнолитых слябов возрастает величина отбраковки проката.

### Литература

1. Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В., Смирнов А.Н. Производство стали. Т. 4. Непрерывная разливка металла. М.: Теплотехник, 2009. 528 с.

2. Ботников С.А. Современный атлас дефектов непрерывнолитой заготовки и причины возникновения прорывов кристаллизующейся корочки металла. 2 изд. Волгоград, 2011. 220 с.
3. Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. Влияние температуры разливаемого металла на качество непрерывнолитого сляба и листового проката // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. Вып.12. С. 68–74.
4. Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. Изучение качества слябовой заготовки, отлитой на криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №1 (41). С. 27 – 30.

УДК 621.74

**П.А. Молочков, Е.В.Синицкий, М.Г.Потапов, О.С. Молочкова**  
Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

### **ВЛИЯНИЕ КАЛЬЦИЙ-СТРОНЦИЕВОГО КАРБОНАТА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЧУГУНОВ**

Средний химический состав кальций-стронциевого карбоната следующий:

- массовая доля карбоната кальция – 90%;
- массовая доля карбоната стронция – 5%;
- остальное MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, фториды натрия и калия.

С целью изучения влияния кальций-стронциевого карбоната на структуру и свойства белых износостойких чугунов были выбраны его добавки в опытных плавках 1, 3, 5, 7 и 9 кг/т. Целесообразно было посмотреть, как карбонат влияет на чугуны разных структурных классов, поэтому были выбраны два чугуна: ИЧХ28Н2 и ИЧ300Х16Ф8. На начальном этапе были отлиты опытные образцы из ИЧХ28Н2 и ИЧ300Х16Ф8. Затем были выплавлены эти же чугуны с обработкой их расплавов карбонатом.

Плавку проводили в индукционной печи. Чугуны заливали в кокиль, песчано-глинистую сухую и сырую формы.

Экспериментальные данные по механическим свойствам представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Свойства чугуна ИЧХ28Н2, обработанного карбонатом

Количество введенного карбоната, кг/т	K <sub>и</sub> , ед.			HRC, ед.		
	Сухая	Сырая	Кокиль	Сухая	Сырая	Кокиль
Без карбоната	4,1	5,6	5,8	49	50	60
1	5,3	5,8	6,5	49,5	50,5	60,5
3	5,8	6,5	6,6	49	50	60
5	5,3	5,9	6,3	48	50,5	60,5
7	4,7	5,4	6,4	51	51,5	60,5
9	4,6	5,6	6,0	51	52,5	61

Таблица 2

Свойства чугуна ИЧ300Х16Ф8, обработанного карбонатом

Количество введенного карбоната, кг/т	K <sub>и</sub> , ед.			HRC, ед.		
	Сухая	Сырая	Кокиль	Сухая	Сырая	Кокиль
Без карбоната	9,5	11	14	60	62	62,5
1	9,8	11,2	14,2	60,5	62	63
3	10,1	12,1	14,9	61	62	63
5	10,4	12,9	16,2	61,5	62,5	64
7	10,0	11,3	15,4	60	62	63
9	9,3	11,0	13,7	60	61,5	62,5

Обработка чугунов карбонатом повышает их износостойкость. Максимальная износостойкость наблюдается при добавлении карбоната до 3 кг/т для ИЧХ28Н2, а для ИЧ300Х16Ф8 до 5 кг/т. Это можно объяснить тем, что при таком количестве карбоната он действует как добавка, рафинирующая и модифицирующая чугун.

Карбонат при введении его в расплав диссоциирует на оксиды и СО<sub>2</sub>. Образовавшиеся оксиды (СаО и SrO) способствуют обескреванию чугуна и очищению границ зерен от неметаллических вклю-

чений и переводу их в глубь зерна, измельчению структуры. Другой продукт диссоциации – пузырьки  $\text{CO}_2$  начинают всплывать и ухватывают за собой неметаллические включения и газы.

Очищение расплава от вредных примесей и образование тугоплавких включений ( $\text{SrO}$  и имеющегося в карбонате  $\text{MgO}$ ), становящихся центрами кристаллизации, приводит к значительному переохлаждению расплава и измельчению структуры. Все это способствует повышению износостойкости чугунов (рис. 1, 2).

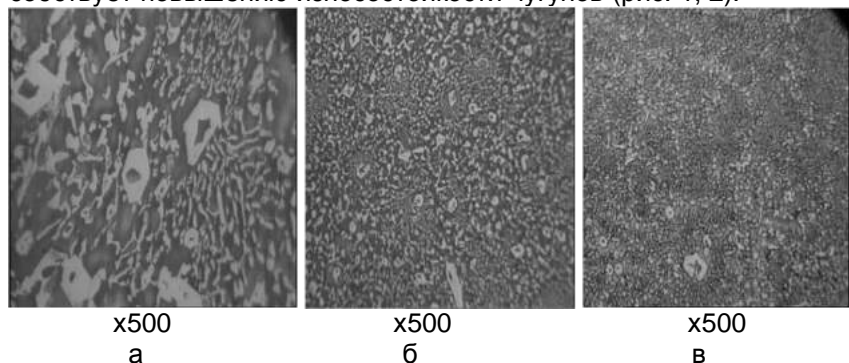


Рис. 1. Микроструктура чугуна ИЧХ28Н2 без обработки карбонатом, залитого в ПГФ сухую (а), ПГФ сырую (б) и кокиль (в)

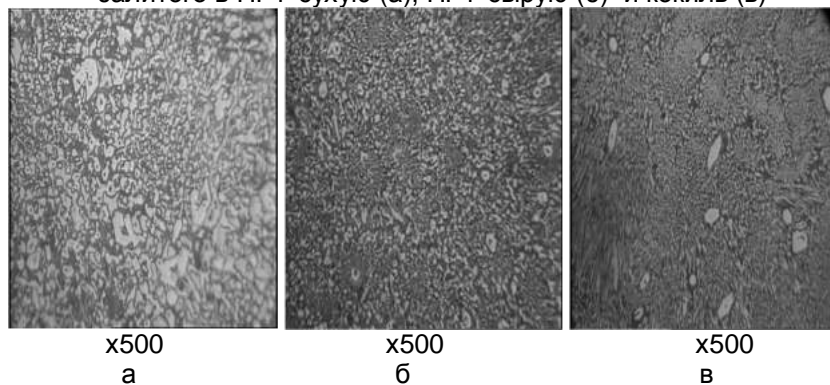


Рис. 2. Микроструктура чугуна ИЧХ28Н2 обработанного карбонатом, залитого в ПГФ сухую (а), ПГФ сырую (б) и кокиль (в)

\* Колокольцев В.М., Молочков П.А. Петроченко Е.В. Комплексное воздействие на структуру белых износостойких чугунов с целью повышения эксплуатационной стойкости отливок // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И.Носова. 2004. №4. С. 23–29.



Увеличение доли карбоната в расплаве вышеуказанных пределов приводит к снижению износостойкости из-за его избытка.

Твердость чугунов при обработке карбонатом увеличивается, но не значительно.

Структура чугуна ИЧХ28Н2 до и после обработки карбонатом состоит из аустенита и мартенсита, карбидов хрома, цементита и эвтектик двух видов. Количество той или иной составляющей зависит от типа формы и доли карбоната.

Цементит присутствует только в образцах, залитых в ПГФ, при увеличении скорости охлаждения (залитка в кокиль) цементит не образуется. При обработке карбонатом дисперсность цементита увеличивается, а количество уменьшается, в результате чего износостойкость растет.

В микроструктуре чугуна до обработки карбонатом количество карбидной фазы достаточно мало, а ведь она определяет износостойкость данного чугуна. При введении карбоната увеличивается количество карбидной фазы, а размеры ее уменьшаются, что повышает износостойкость чугуна. При этом наблюдается незначительный спад микротвердости матрицы из-за обеднения ее углеродом и хромом.

Микроструктура чугуна ИЧ300Х16Ф8 после обработки карбоната  $5 \text{ кг/т}$  представлена на рис. 3, 4.

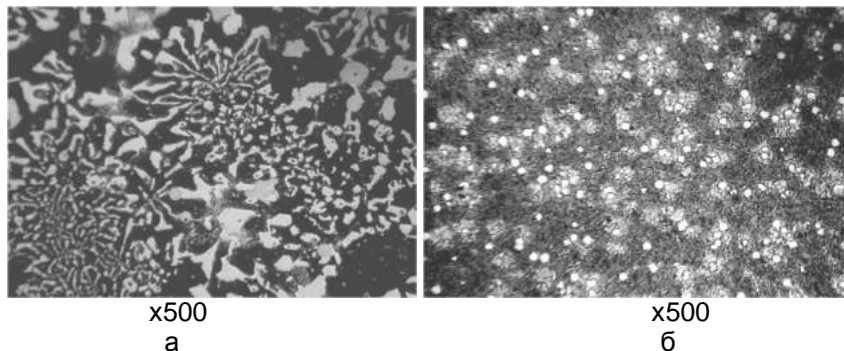


Рис. 3. Микроструктура чугуна ИЧ300Х16Ф8 обработанного  $5 \text{ кг/т}$  карбонатом, залитого ПГФ сырую (а) и кокиль (б)

После обработки чугуна ИЧ300Х16Ф8  $5 \text{ кг/т}$  карбонатом наблюдается измельчение карбидов ванадия (с 6,9 до 3,1 мкм), придания им округлой формы (рис. 5) и равномерному распределению в матрице, вследствие чего повышается износостойкость.

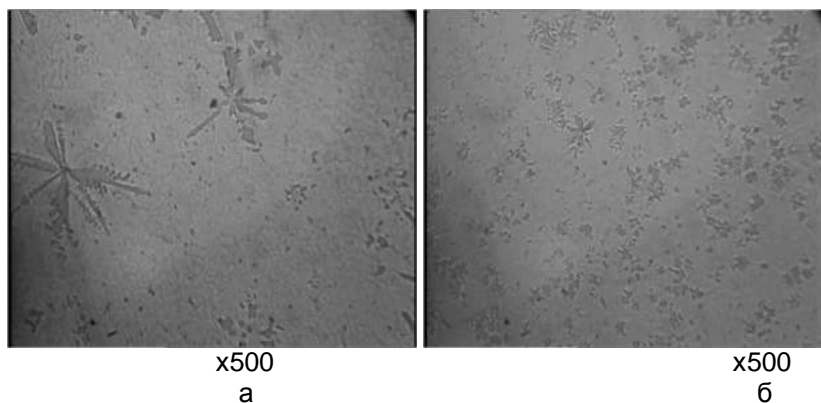


Рис. 4. Микроструктура карбидов ванадия чугуна ИЧ300Х16Ф8 без обработки карбонатом, залитого в ПГФ сырую (а) и кокиль (б)

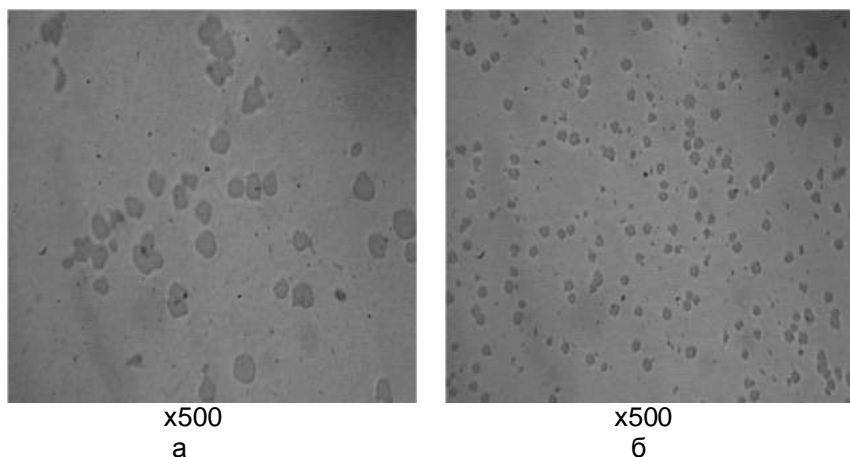


Рис.5. Микроструктура карбидов ванадия чугуна ИЧ300Х16Ф8 после обработки карбонатом, залитого в ПГФ сырую (а) и кокиль (б)

Количество вводимого карбоната, при котором износостойкость чугунов максимальна, различно: для ИЧХ28Н2 оно составляет  $3 \text{ кг/т}$ , для ИЧ300Х16Ф8 –  $5 \text{ кг/т}$ . Обработка чугунов рекомендуемыми количествами карбоната улучшает литейные свойства: увеличивает жидкотекучесть, снижает линейную усадку и замедляет интенсивность развития усадки в начальный момент, что повышает трещиностойкость чугунов.

Повышение износостойкости чугунов достигается за счет рафинирующе-модифицирующего действия карбоната: снижается загрязненность чугунов неметаллическими включениями, особенно сульфидными; измельчаются эвтектики, первичные дендриты и карбидная фаза.

УДК 621.791.927.55

**С.П. Нефедьев, А.Н. Емелюшин, Е.В. Петроченко, А.В.Шилова**  
Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

### **ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКЕ**

Упрочняющая наплавка деталей горных машин и металлургического оборудования сопряжена с определёнными технологическими трудностями, в первую очередь связанными с чрезмерной склонностью наплавленных изделий к трещинообразованию из-за высоких напряжений, возникающих в высоколегированном наплавленном металле и зоне сплавления с металлом основы. Основной причиной возникновения напряжений является отсутствие дискретности химического и структурно-фазового составов. Стремясь избежать трещинообразования, плазменную наплавку проводят при повышенных значениях силы тока и, соответственно, при максимальном проплавлении металла основы и участии его в наплавленном металле [1]. Часто это позволяет уменьшить градиент химического состава в зоне сплавления и за счёт этого снизить опасность возникновения трещин. Однако это приводит к сильному подмешиванию металла основы в наплавленный металл и снижению эксплуатационных свойств наплавленного покрытия, а также к повышенному расходу дорогих наплавочных материалов.

Плазменно-порошковая наплавка износостойких покрытий двудуговым плазмотроном, в отличие от прочих способов дуговой наплавки, позволяет исключить вероятность трещинообразования наплавленного покрытия. Это становится возможным благодаря эффективному расходованию мощности плазменной дуги на образование сварочной ванны, при минимальном проплавлении подложки, что обеспечивает заданный состав наплавленного металла

уже в первом наплавленном слое [2]. При этом в зоне сплавления наплавленного металла между основой и наплавленным металлом формируется аустенитная зона. Формирование аустенитной прослойки в зоне сплавления приводит к образованию слоистого композиционного покрытия [3], что способствует повышению дискретности структуры и механических свойств зоны сплавления. Однако минимальное подмешивание основного металла в наплавленный при плазменно-порошковой наплавке, даже на оптимальных режимах наплавки, всё же неизбежно [4]. Проплавление металла основы и смешение с наплавленным металлом приводит к образованию в узкой промежуточной зоне нового переходного сплава усреднённого состава в соответствии с долей участия основного и присадочного материалов. Структурно-фазовое состояние и эксплуатационные свойства промежуточных сплавов, формирующихся в зоне сплавления, будут зависеть от их химического состава, который приближенно можно определить исходя из анализа соответствующих диаграмм [5].

Плазменно-порошковую наплавку производили двухдуговым плазмотроном с максимальной силой тока косвенной дуги 40 А. Присадочным материалом являлся порошок типа 315Х19Ф3. Наплавку производили на образцы из стали 45 по режимам, приведённым в таблице.

Режимы наплавки

Режим наплавки	Тип наплавленного металла	Сила тока импульса, А	Сила тока паузы, А	Период модуляции, с
1	315Х19Ф3	120	-	-
2		180	-	-

Согласно [6,7] при повышении силы тока с 120 до 180 А, при прочих равных параметрах наплавки, доля участия основного металла в наплавленном повышается с 3 до 12%. При этом зона сплавления является наиболее чувствительной к подмешиванию металла основы. Микроструктура зоны сплавления наиболее чувствительна к режимам наплавки и дополнительным технологическим воздействиям и, как следствие, является показателем степени участия основного металла в наплавленном.

При наплавке порошка типа 315Х19Ф3 на режиме 1 при токе 120 А в средней части наплавленного металла формируется

структура эвтектического типа (рис. 1, а). Наблюдающееся совпадение относительной интенсивности линий матрицы и табличных значений интенсивностей линий для  $\gamma$ -железа позволяет заключить, что матрица наплавленного металла представляет собой аустенит [8]. В объёме аустенитной матрицы равномерно распределена карбидная фаза. Присутствуют частицы характерной для первичного карбида хрома  $M_7C_3$  карандашной формы, а также верообразная эвтектика на базе карбида  $M_7C_3$  микротвёрдостью 9400 МПа.

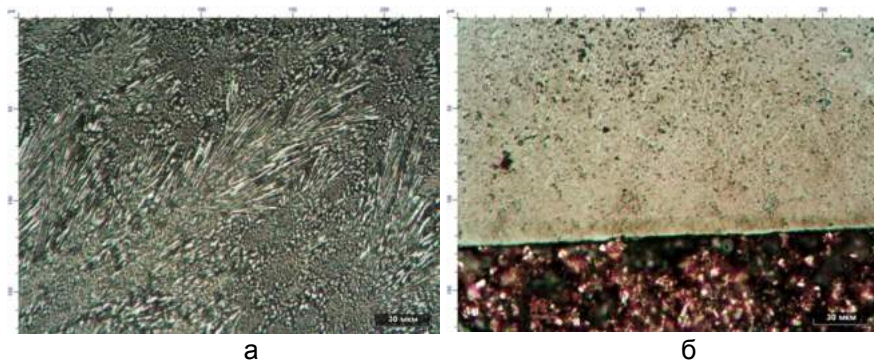


Рис. 1. Микроструктура покрытия, наплавленного на токе 120 А:  
а – средняя часть наплавленного металла, x500;  
б – зона сплавления, x500

Данные металлографического анализа свидетельствуют о наличии светлых частиц скруглённой формы располагающихся в зоне сплавления и нижней части средней зоны покрытия (рис. 2, а). Частицы, обладающие схожим строением, обнаруживаются и в металле подложки, расположенные вдоль линии сплавления (рис. 2, б). Микротвёрдость частиц, расположенных в наплавленном металле, составляет 13000 МПа, а расположенных в металле подложки – 12200 МПа. Данные рентгеноструктурного анализа, измерения микротвёрдости и металлографические исследования позволяют заключить, что светлыми частицами округлой формы в зоне сплавления и нижней части средней зоны покрытия является цементит [9].

Можно предположить, что при проплавлении подложки дугой сварочная ванна образуется за счёт частиц присадочного порошка, а также ферритных и перлитных зёрен, находящихся вдоль линии

сплавления. При этом цементитные пластинки перлита не успевают раствориться в жидкой фазе сварочной ванны, а лишь коагулируют и всплывают на некоторую высоту, оставаясь в наплавленном металле. Отсутствие металлографически различных коагулированных частиц цементита в средней зоне наплавленного металла подтверждает предположение о попадании цементита в покрытие из металла подложки, так как высвободившийся из оплавленных перлитных зёрен цементит по мере перемешивания в средней части покрытия растворяется и становится металлографически неразличимым. Наличие цементита негативно сказывается на износостойкости и эксплуатационных свойствах покрытия, поэтому необходимо обеспечить режимы наплавки, при которых подмешивание металла подложки будет минимальным [6].

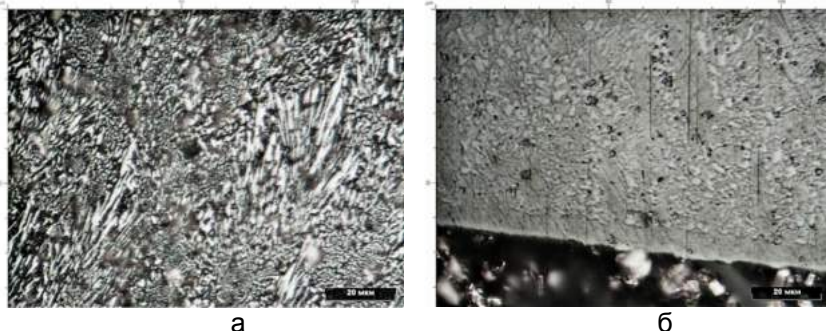


Рис. 2. Цементитные частицы в покрытии 315Х19Ф3, наплавленном на общем токе 120 А:  
а – в нижней части средней зоны,  $\times 500$ ;  
б – в металле подложки,  $\times 1000$

Наплавка порошка типа 315Х19Ф3 на режиме 2 при общем токе 180 А приводит к формированию доэвтектической структуры покрытия (рис. 3), взамен эвтектической, образующейся при наплавке на токе 120 А. Это объясняется как меньшими коэффициентами перехода [6] легирующих элементов, таких как углерод и хром, так и значительным перегревом сварочной ванны и меньшей скоростью её кристаллизации, вследствие чего кристаллизация покрытия сдвигается по тальвеге в сторону доэвтектических структур [10].

Повышение давления дуги при наплавке на токе 180 А приводит к сильному проплавлению металла основы и подмешиванию его в наплавленный металл. В результате (см. рис. 3) в зоне сплавления со стороны наплавленного металла на расстоянии

2–4 мкм от подложки образуется прослойка мартенсита, расположенного на границах и в центре кристаллитов, имеющих дендритное строение. Наличие мартенсита в зоне сплавления предопределяет склонность такого покрытия к трещинообразованию. В центральной части наплавленного металла формируется структура доэвтектического типа. Дендриты аустенита расположены хаотично, отсутствует общее направление роста, что свидетельствует о высокой степени перегрева центральной части сварочной ванны и низкой скорости её кристаллизации. В междендритном пространстве расположена аустенитно-карбидная эвтектика пластинчатого строения, образованная на базе карбида хрома типа  $M_7C_3$ .

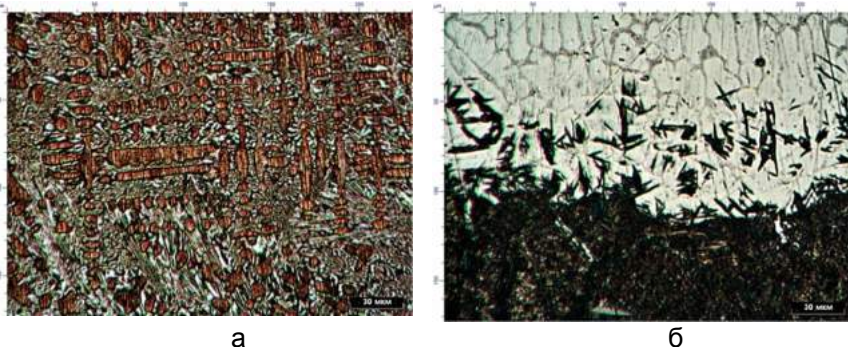


Рис. 3. Микроструктура покрытия наплавленного на токе 180 А:  
а – средняя часть наплавленного металла,  $\times 500$ ;  
б – зона сплавления,  $\times 500$

### Литература

1. Гладкий П.В., Переплётчиков Е.Ф., Рябцев И.А. Плазменная наплавка. К.: Экотехнология, 2007. 292 с.
2. Сидоров А.И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. М.: Машиностроение, 1987. 192 с.
3. Тушинский Л.И., Плохов А.В. Исследование структуры и физико-химических свойств покрытий. Новосибирск: Наука, 1986. 324 с.
4. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. акад. Б.Е. Патона. М.: Машиностроение, 1974. 768 с.
5. Сварка изделий из нержавеющей стали. Технический справочник. [Электронный ресурс]. URL: <http://esab.ru> (дата обращения: 08.04.2013).

6. Формирование структуры и свойств зоны сплавления при плазменно-порошковой наплавке покрытия типа 250X15Г200С / Емелюшин А.Н., Петроченко Е.В., Нефедьев С.П., Морозов А.Н. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Носова. 2011. № 3. С. 70–73.
7. Емелюшин А.Н., Петроченко Е.В., Нефедьев С.П. Исследование структуры и ударно-абразивной износостойкости покрытий системы Fe-C-Cr-Mn-Si, дополнительно легированных азотом // Сварочное производство. 2011. № 10. С. 21–23.
8. Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. М.: Машиностроение, 1991.
9. Емелюшин А.Н., Петроченко Е.В., Нефедьев С.П. Сравнение структуры и свойств литых и наплавленных износостойких материалов // Литейные процессы: межрегион. сб. науч. трудов / под ред. В.М.Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. С. 141–145.
10. Цыпин И.И. Белье износостойкие чугуны. Структура и свойства. М.: Металлургия, 1983. 176 с.

УДК 669.046.546.2

**А.М. Столяров, К.В. Синицких**

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

**В.В. Мошкунов**

ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»

## **ВЛИЯНИЕ КОНВЕРТЕРНОГО ШЛАКА НА ДЕСУЛЬФУРАЦИЮ МЕТАЛЛА В КОВШЕ**

Известно [1], что попадание конвертерного шлака из агрегата в сталеразливочный ковш оказывает негативное воздействие на десульфурацию металла твердой шлакообразующей смесью. Это связано с высоким содержанием оксидов железа в конвертерном шлаке. В кислородно-конвертерном цехе ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» отсечка шлака в процессе выпуска металла из конвертера в основном осуществляется методом «подрыва струи». Покровной шлак в сталеразливочном ковше наводится присадкой твердой шлакообразующей смеси, состоя-



щей из извести и плавикового шпата. Информация о количестве конвертерного шлака, попадающего в ковш при выпуске металла, отсутствует. В настоящей работе предпринята попытка количественной оценки конвертерного шлака, оказавшегося в ковше, и его влияния на десульфурацию металла.

Рассчитать количество конвертерного шлака, попавшего в ковш при выпуске металла из конвертера, возможно с использованием формулы, приведенной в работе [2].

$$g_{\text{шл}} = \frac{100([S]_{\text{н}} - [S]_{\text{к}}) - g_{\text{шл}}^{\text{кон}} (L_{\text{S}}^{\text{к}} [S]_{\text{к}} - L_{\text{S}}^{\text{кон}} [S]_{\text{н}})}{L_{\text{S}}^{\text{к}} [S]_{\text{к}} - (S)_{\text{шл}}}, \quad (1)$$

где  $g_{\text{шл}}$  – количество твердой шлакообразующей смеси, %;

$g_{\text{шл}}^{\text{кон}}$  – количество конвертерного шлака, попадающего в ковш, %;

$[S]_{\text{н}}, [S]_{\text{к}}$  – содержание серы в металле до и после обработки твердой шлакообразующей смесью, %;

$L_{\text{S}}^{\text{к}}, L_{\text{S}}^{\text{кон}}$  – коэффициент распределения серы в ковше и в конвертере;

$(S)_{\text{шл}}$  – содержание серы в твердой шлакообразующей смеси, %.

Из формулы (1) путем несложных математических преобразований получается следующее уравнение:

$$g_{\text{шл}}^{\text{кон}} = \frac{100([S]_{\text{н}} - [S]_{\text{к}}) - g_{\text{шл}} [L_{\text{S}}^{\text{к}} [S]_{\text{к}} - (S)_{\text{шл}}]}{L_{\text{S}}^{\text{к}} [S]_{\text{к}} - L_{\text{S}}^{\text{кон}} [S]_{\text{н}}}. \quad (2)$$

Для получения исходных данных, необходимых при расчете количества конвертерного шлака, был сформирован массив из 50 плавков трубной стали класса прочности K56, K60, K65 (74% объема массива) и углеродистой стали (26%). По каждой плавке имелась информация о химическом составе как металла, так и шлака перед выпуском металла из конвертера и после его раскисления в ковше, а также о количестве введенных в ковш извести и плавикового шпата. С использованием этих производственных данных по каждой плавке расчетным путем были определены значения коэффициента распределения серы между металлом и шлаком в конвертере и ковше.

В таблице приведена информация о значениях параметров, использованных для расчета количества конвертерного шлака.

Значения параметров для расчета  
количества конвертерного шлака

Параметр	Значение параметра		
	минимальное	среднее	максимальное
Количество твердой шлакообразующей смеси (ТШС), %	0,61	1,02	1,35
Содержание серы в металле до обработки ТШС, %	0,009	0,018	0,026
Содержание серы в металле после обработки ТШС, %	0,006	0,012	0,023
Коэффициент распределения серы в конвертере	2,4	4,0	6,6
Коэффициент распределения серы в ковше	8,6	36,6	82,2

Содержание серы в твердой шлакообразующей смеси было принято равным 0,05%.

По каждой плавке с использованием уравнения (2) было рассчитано количества конвертерного шлака, попавшего в сталеразливочный ковш при выпуске металла из конвертера. Диапазон рассчитанных значений составил от 0,06 до 1,63%, в среднем – 0,79% или 0,6–16,3 кг/т и в среднем – 7,9 кг/т. Частотное распределение количества конвертерного шлака в ковше показано на рис. 1.

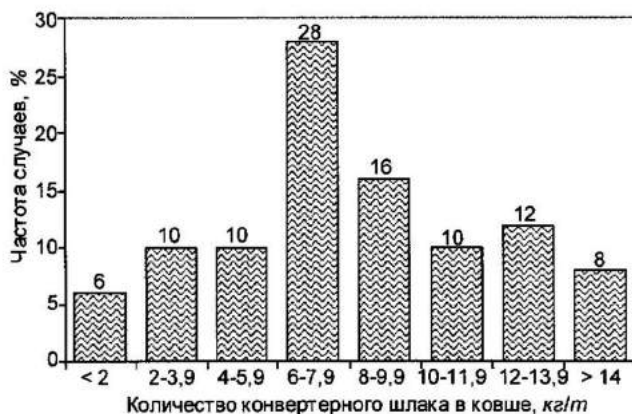


Рис. 1. Частотное распределение количества конвертерного шлака, попавшего в ковш при выпуске металла из конвертера

Из рис. 1 следует, что наиболее часто, в 44% случаев, отмечается попадание из конвертера в ковш шлака в количестве от 6 до 9,9 кг/т.

Данный шлак вносит значительное количество оксидов железа, для раскисления которых потребуется дополнительное количество алюминия. На рис. 2 приведена зависимость дополнительного количества вторичного алюминия, которое потребуется для раскисления конвертерного шлака, попавшего в ковш при выпуске металла из агрегата, от количества этого шлака и содержания в нем оксидов железа.

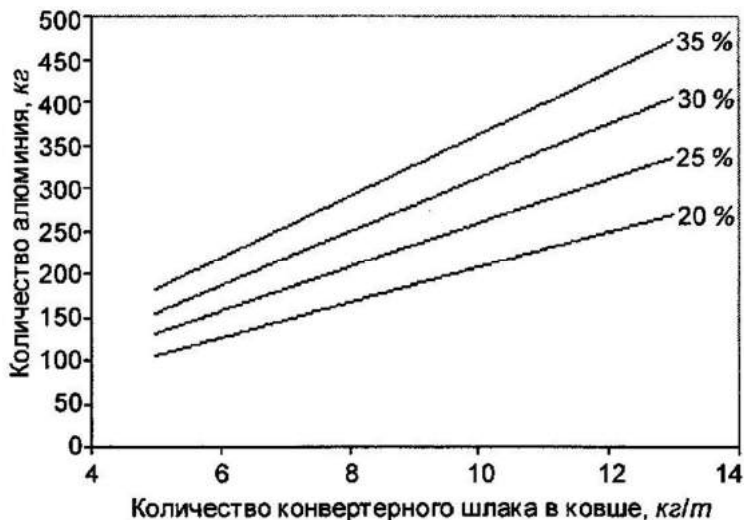


Рис. 2. Зависимость дополнительного количества вторичного алюминия для раскисления шлака в ковше от количества конвертерного шлака, попавшего в ковш при выпуске металла, и содержания оксидов железа в шлаке (цифры у линий)

Из этого рисунка видно, что широкий диапазон изменения количества конвертерного шлака в ковше – от 5 до 13% вызывает и большие колебания расхода вторичного алюминия, например при содержании в шлаке 25% FeO – от 129 до 336 кг, то есть увеличение количества раскислителя составляет 207 кг.

Попадание шлака из конвертера в ковш ухудшает десульфурацию металла шлакообразующей смесью. В результате статистического анализа удалось установить зависимость между коэффици-

циентом распределения серы между шлаком и металлом от расхода твердой шлакообразующей смеси ( $кг/т$ ) и количества конвертерного шлака в ковше ( $кг/т$ ), которая имеет следующий вид:

$$L_S^k = 13,3 + 2,82 g_{тис} - 0,70 g_{шл}^{кон}, \quad R = 0,418, \quad R_{норм} = 0,374. \quad (3)$$

На рис. 3 показаны опытные данные в виде точек и расчетные данные в виде линий, полученных с использованием уравнения (3). Из рисунка следует, что при увеличении количества конвертерного шлака в ковше на  $6 кг/т$  происходит снижение коэффициента распределения серы на 4,2. Расчетные значения коэффициента распределения серы в ковше после обработки твердой шлакообразующей смесью изменялись в интервале от 20 до 50.

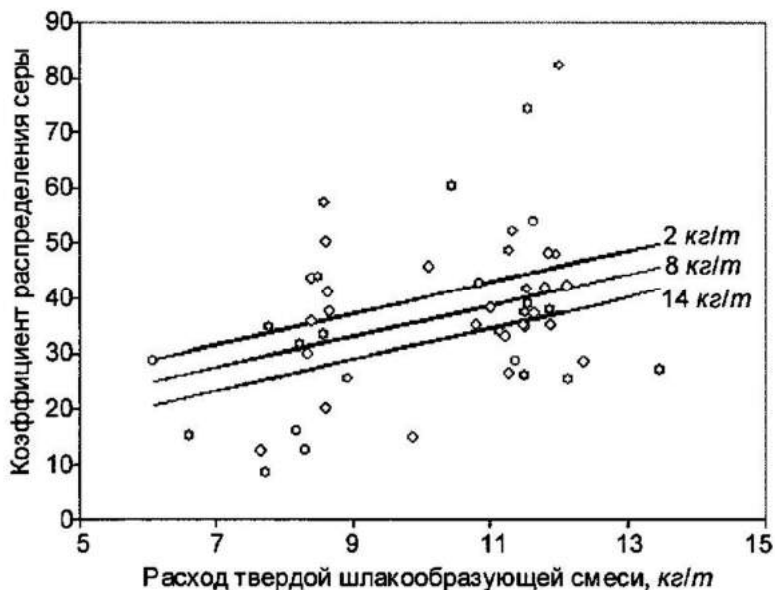


Рис. 3. Зависимость коэффициента распределения серы от расхода твердой шлакообразующей смеси и количества конвертерного шлака, попавшего в ковш при выпуске металла (цифры у линий)

На рис. 4 приведена зависимость содержания серы в металле (%) после обработки твердой шлакообразующей смесью от ее

расхода ( $кг/т$ ) и количества конвертерного шлака в ковше ( $кг/т$ ). Опытные данные представлены в виде точек, а результаты статистической обработки – в виде линий, построенных по следующему уравнению:

$$[S] = 0,0185 - 0,0007g_{\text{шл}} + 0,0001g_{\text{шл}}^{\text{кон}}, R = 0,359, R_{\text{норм}} = 0,303. \quad (4)$$

Следует отметить достаточно слабое влияние количества конвертерного шлака, попадающего в ковш, на изменение содержания серы в металле. Так, при возрастании количества конвертерного шлака на  $6 кг/т$  конечное содержание серы в металле увеличивается всего на  $0,0006\%$ .

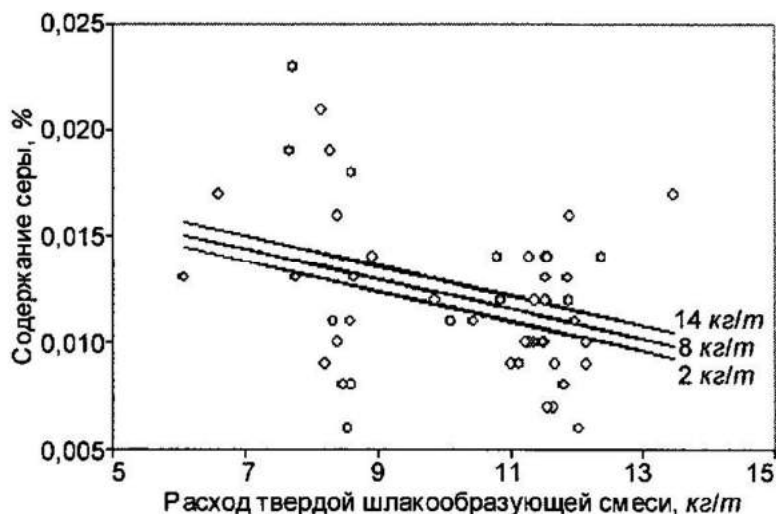


Рис. 4. Зависимость содержания серы в металле после обработки твердой шлакообразующей смесью от ее расхода и количества конвертерного шлака (цифры у линий), попавшего в ковш при выпуске металла из агрегата

Таким образом, в условиях кислородно-конвертерного цеха ОАО «ММК» при выпуске металла из агрегата в ковш попадает конвертерный шлак в количестве  $0,6 - 16,3 кг/т$  или в среднем  $7,9 кг/т$ . Широкий диапазон изменения количества конвертерного шлака в ковше свидетельствует о недостаточной надежности ис-

---

---

пользуемого в цехе метода отсечки шлака «подрыв струи», эффективность которого во многом зависит от квалификации обслуживающего персонала. Попадание шлака из конвертера в ковш ведет к дополнительному расходу вторичного алюминия для раскисления шлака и ухудшает условия десульфурации металла твердой шлакообразующей смесью.

### Литература

1. Буданов Б.А., Сеницких К.В. Десульфурация металла в ковше твердыми шлакообразующими смесями // Литейные процессы: сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. Вып. 11. С. 102–107.
2. Бигеев А.М., Бигеев В.А. Металлургия стали. Теория и технология плавки стали. Магнитогорск: МГТУ, 2000. 544 с.

## Раздел 2

## ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ

УДК 669.14.018.256

**К.Н. Вдовин, Э.А. Косарева**Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова**УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ЖИДКОСТЕКОЛЬНЫХ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ**

Качество литых заготовок зависит не только от правильно выплавленного металла, выбора и расчета литниковой системы, но и от качества изготовленной формы.

В связи с санитарно-гигиеническими и экологическими проблемами, вызванными массовым применением в литейном производстве синтетических смол и органических связующих, вновь увеличивается использование жидкого стекла. При применении песчано-смоляных смесей в воздухе рабочей зоны основные вредные вещества должны быть не выше предельно допустимых концентраций, данные по которым указаны в табл. 1 [1].

Таблица 1  
Предельно допустимые концентрации веществ  
при использовании ХТС

Наименование	Количество, мг/м <sup>3</sup>
Окись углерода	20,0
Формальдегид	0,5
Метиловый спирт	5,0
Фенол	5,0
Ацетон	200,0
Фурфурол	10,0
Бензол	5,0
Аммиак	20,0
Цианид	0,3
Оксид азота	5,0

Смеси на жидком стекле экологически чистые по сравнению со смесями на синтетических смолах, имеют более низкую стоимость, доступность и универсальность. Их применение позволяет значительно повысить качество отливок за счет сокращения поверхностных дефектов.

Поэтому в отечественной и мировой практике литейного производства внимание литейщиков вновь обращено на жидкостекольное связующее.

После проведенного литературного анализа выяснили, что наиболее распространенными являются смеси на жидком стекле с феррохромовым шлаком и нефелиновым шлаком. Состав смесей приведен в табл. 2. Для получения жидкой смеси с хорошей текучестью в ее состав необходимо ввести 0,1–0,12% ДС-РАС или 0,5% нейтрализованного контакта Петрова в самостоятельном виде или в сочетании с 0,05–0,1% мылонафта. Свойства формовочных смесей на нефелиновом шламе и феррохромовом шлаке приведены в табл. 3 [2].

Таблица 2  
Состав ЖСС с нефелиновым шлаком и феррохромовым шлаком

Компоненты	Содержание компонентов, масс. ч.			
Кварцевый песок	95–97		97	
Феррохромовый шлак	3–5		-	
Нефелиновый шлак	-		3	
Жидкое стекло	6–7		3,5–4,5	
Вода	1,5–2,0		1,5–2,0	
Пенообразователь	0,5	-	0,5	-
Контакт Петрова	0–0,15		0–0,15	
Мылонафт	0–0,15	0,1–0,15	-	0,1–0,15
ДС-РАС	-	0,1–0,15	-	0,1–0,15

Преимущества смеси на нефелиновом шламе по сравнению со смесью на феррохромовом шлаке – низкое содержание жидкого стекла, что резко улучшает выбивку смесей из отливок. Недостаток смеси – ограниченная живучесть (устойчивость пены не более 3 – 5 мин), в то время как в жидких смесях с феррохромовым шлаком это свойство можно регулировать в большом диапазоне, изменяя, например, соотношение между контактом Петрова и мылонафтом.



Таблица 3  
Свойства ЖСС на нефелиновом шлаке и феррохромовом шлаке

Свойства смесей	ЖСС с феррохромовым шлаком		ЖСС с нефелиновым шлаком	
Прочность при сжатии, кгс/см <sup>2</sup> , через				
1 ч	2,5–5,5		2,5–3,0	
3 ч	5,5–8,0		5,0–6,5	
24 ч	8,0–13,5		7,0–12,5	
Газопроницаемость через				
1 ч	200–250	70–80	200–250	70–80
24 ч	400–500	300–500	400–500	300–500
Устойчивость пены, мин	3–20		3–5	

На рис. 1 приведены данные по влиянию содержания шлака в смеси на ее прочность при постоянном количестве жидкого стекла, равного 6% (а), и влияние количества жидкого стекла при постоянном содержании шлака, равном 5% (б). Пенообразователь – 0,5% контакта Петрова газойлевого (нейтрализованного) и 0,05% мылонафта.

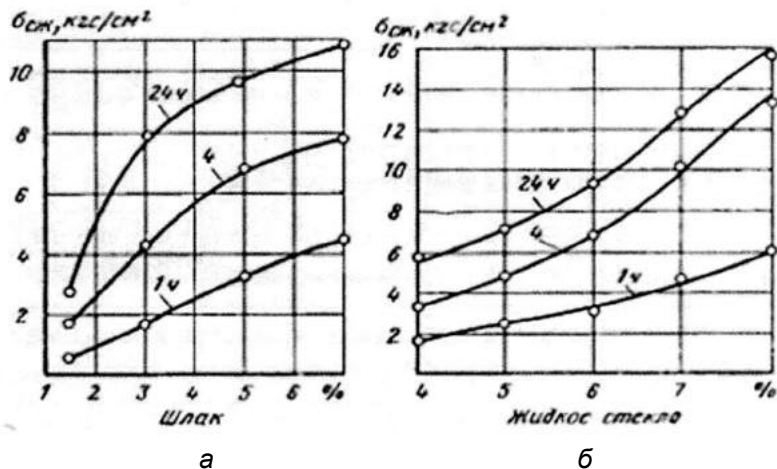


Рис. 1. Влияние количества феррохромового шлака в смеси (а) и количества жидкого стекла в смеси со шлаком (б) на их прочность через 1, 4, 24 ч

Из рис. 1 следует, что для получения ЖСС с необходимыми прочностными и технологическими свойствами в смесь следует вводить 3–5% феррохромового шлака и 6–7% жидкого стекла.

В настоящее время активно ведутся разработки по улучшению выбиваемости жидкостекольных формовочных смесей при помощи введения добавок различного характера. Так, Э.А. Дмитриев в своей диссертации «Исследование, разработка и внедрение в производство литейных цехов формовочных смесей на основе комплексных неорганических связующих с целью повышения их технологических свойств» предложил в качестве добавок использовать полимерные добавки: карбоксиметилцеллюлозу, поливиниловый спирт и полистирол. При этом вводить их в сырую смесь и при плакировании полимерной добавкой песка. Влияние этих добавок в жидкостекольную смесь на прочные свойства указано на рис. 2 [3].

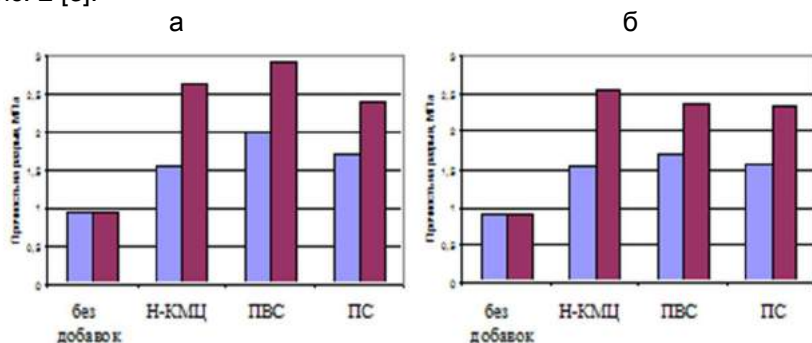


Рис. 2. Гистограммы максимальных прочностей жидкостекольных смесей с полимерными добавками: ■ – введение полимерной добавки в сырую смесь; ■ – при плакировании полимерной добавкой песка; а – отверждение смеси при температуре 200°C; б – отверждение смеси CO<sub>2</sub> газом

Из рис. 2 следует, что введение в состав исследованных полимерных добавок значительно повышает прочность смеси как при введении жидкостекольного связующего сразу после перемешивания наполнителя с полимером, так и в случае предварительного плакирования наполнителя полимером. Наилучший результат достигнут при плакировании песка поливиниловым спиртом и отверждении данной смеси при температуре 200°C. При этом, если сравнивать другие технологические свойства ЖСС на основе по-

ливинилового спирта и полистирола (табл. 4), то можно сделать вывод, что ЖСС на основе полистирола имеет ряд преимуществ:

- смесь не разупрочняется при хранении;
- полностью отсутствует пригар на отливках;
- после заливки и охлаждения металла смесь полностью разупрочняется;
- способствует утилизации полистироловых изделий [4].

Таблица 4

Технологические свойства ЖСС на основе поливинилового спирта и полистирола

Показатель	Смесь с полистирольным связующим	Смесь с поливиниловым спиртом
Газопроницаемость	230–265	220–270
Прочность на разрыв после сушки при температуре 220–240° С, МПа	2,5–2,9	2,2–2,4
Прочность на разрыв после сушки при температуре 220–240° С и хранении 72 ч, МПа	2,5–2,9	1,5–2,0
Выбиваемость	После заливки смесь рассыпается	Хорошая
Поверхность отливки (чугун)	Без пригара	Имеются следы пригара в тепловых узлах

Из многочисленных литературных источников было выявлено большое многообразие составов жидкостекольных формовочных смесей. Однако улучшение выбиваемости некоторых смесей ведет к недостаточной противопригарной стойкости, в особенности при литье чугунных отливок, а также к повышенной гигроскопичности, что приводит к разупрочнению готовых изделий из смеси при хранении и многое другое. Поэтому улучшение технологических свойств жидкостекольных формовочных смесей является вопросом актуальным. И в настоящий момент нами ведется рассмотрение методик изготовления ЖСС и подбор доступных и недорогостоящих добавок в смесь с целью улучшения ее технологических свойств.

---

---

### Литература

1. Хесин И.С. Быстротвердеющие смеси в литейном производстве. М.: Машгиз, 1956. 341 с.
2. Борсук П.А., Лясс А.М. Жидкие самотвердеющие смеси. М. Машиностроение, 1979. 255 с.
3. Евстигнеев А.И., Петров В.В. Дмитриев Э.А. Жидкостекольные формовочные смеси с улучшенными технологическими свойствами // Литейное производство. 2008. № 12. С 25–27.
4. Тютина Е.А., Петров В.В. Плакирование наполнителя жидкостекольной смеси растворами органических веществ// Литейное производство. 2005. №12. С. 7–9.

УДК 621.46

#### **Э.С. Зальцман**

Московский государственный машиностроительный университет («МАМИ»), Электростальский филиал

#### **С.Л. Урин**

Электрометаллургический завод ОАО «Электросталь»

### **УСКОРЕННОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ ОТЛИВОК ИЗЛОЖНИЦ ИЗ ЧУГУНА С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ**

Чугунные изложницы массой до 5 т изготавливают в ОАО «Электросталь» и используют для разлива специальных сталей при температурах до 1700°С. Изложницы отливают в формы из песчано-глинистой смеси по сухому (ПГС) со стержнями из жидкой самотвердеющей смеси (ЖСС).

Около 50% отливок изложниц выбивают из формы при температурах менее 400°С. Выдержка в форме после затвердевания является наиболее продолжительной (до 70%) операцией технологического цикла. Сокращение выдержки без ущерба качеству и долговечности изложниц должно основываться на анализе и учете условий структурообразования отливок.

Состав металлической основы ЧШГ формируется при эвтектичном превращении и зависит от скорости охлаждения отливки. Ускорение охлаждения отливок из ЧШГ и вызываемое им переохладение аустенита приводят к образованию мелкодисперсных

перлитных структур, увеличению содержания перлита и снижению доли феррита в металлической основе чугуна [1, 2].

Количественно этот процесс изучен недостаточно. Поэтому в работе рассматривали:

- влияние скорости охлаждения отливок изложниц после затвердевания на конечную структуру чугуна с шаровидным графитом;
- целесообразный температурный интервал извлечения отливок изложниц из формы для последующего охлаждения на воздухе;
- влияние ускоренного охлаждения отливок на стойкость изложниц.

Исследование конечной структуры и механических свойств ЧШГ в зависимости от интенсивности охлаждения затвердевших отливок проводили на примере типовой отливки глухотонной изложницы квадратного поперечного сечения массой 800 кг.

На рис. 1 приведен график изменения со временем температуры в характерных точках этой отливки при охлаждении в форме.

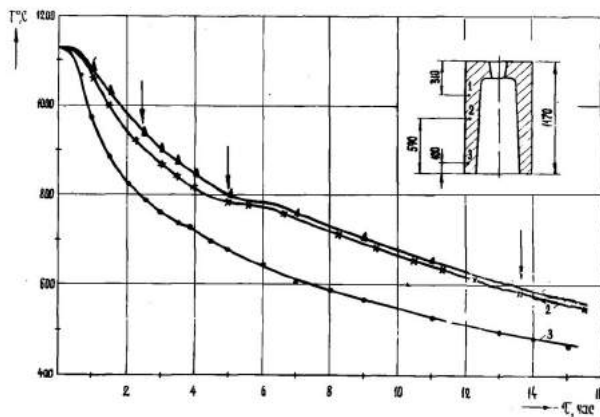


Рис. 1. График изменения температуры при охлаждении изложницы квадратного поперечного сечения массой 800 кг

Для анализа структурообразования ЧШГ при различной интенсивности охлаждения применили натурное моделирование. Использовали экспериментальные отливки – цилиндры диаметром 230 и высотой 460 мм. Размеры цилиндров выбирали на основании рас-

четов на ЭВМ для соответствия скорости охлаждения стенки типовой отливки. Их заливали из чугуна химического состава изложниц (табл. 1) в формы из ПГС при температурах 1180–1200 °С.

Таблица 1  
Химический состав чугуна с шаровидным графитом  
в опытных образцах, %

C	Si	Mn	P	S	Mg
3,4÷3,7	2,3÷2,7	0,15÷0,25	0,110÷0,120	0,09÷0,010	0,05÷0,08

Температуру опытных цилиндров замеряли хромель-алюмелевыми термопарами в центре отливок на половине их высоты. Изменение условий охлаждения цилиндров достигалось путем выбивки из формы при температурах 950, 850, 800, 760, 740 и 600 °С с последующим охлаждением на воздухе.

После полного охлаждения из цилиндров отбирали темплеты для изготовления шлифов и образцов для механических испытаний.

При обработке результатов экспериментов использовали средние скорости охлаждения отливок в интервале температур эвтектоидного превращения в чугуне, принятом от 800 до 650°С.

$$S_n = \frac{150}{\Delta\tau_r}, \quad (1)$$

где  $\Delta\tau_r = \tau_{600^\circ\text{C}} - \tau_{800^\circ\text{C}}$  – время охлаждения отливок в указанном интервале температур, мин.

Установлено, что средние скорости охлаждения  $S_r$  изменились от 0,5 град/мин в результате выбивки при 600°С до 4,5–5,0 град/мин с применением выбивки при 950°С (рис. 2).

В указанных условиях содержание перлита в чугуне изменялось соответственно от П20 до П70. С повышением температуры выбивки дисперсность перлита возрастала от  $P_d 1,5$  до  $P_d 1,0$ .

Наиболее значительное изменение содержания перлита в структуре чугуна происходило при выбивке отливок в области эвтектоидных температур 760–740°С. В отливках, выбитых из формы после эвтектоидного превращения, содержание перлита практически не изменялось.

ЧШГ рассматриваемого химического состава кристаллизуется в виде эвтектических колоний с шаровидным графитом преимущественно формы ШГф4. Диаметр графитовых включений со-

ответствовал баллу ШГд25-ШГд45. Среднее количество графита по площади шлифа составило 8–12%. В результате ускорения охлаждения отливок форма и размеры графитовых включений практически не изменились.

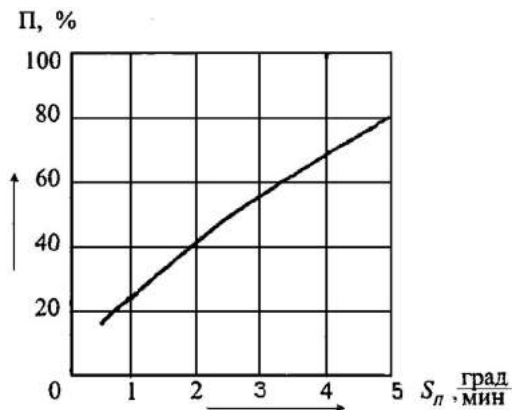


Рис.2. Зависимость количества перлита от скорости охлаждения отливок

При увеличении температур выбивки временное сопротивление растяжению увеличилось с 350–400 до 450–520 МПа, а относительное удлинение снизилось.

Полученные при моделировании результаты были подтверждены в исследованиях отливок изложниц, которые выбивали из формы при температурах 900–950, 780–760 и 600°С и охлаждали на воздухе.

Для определения микроструктуры из изложниц отбирали образцы на середине высоты отливки с помощью полого сверла. Среднее по сечению стенок содержание перлита в центральной зоне изложниц приведено в табл. 2.

Таблица 2

Количество перлита в матрице ЧШГ изложниц при различных температурах выбивки отливок

Температура выбивки, °С	950–900	780–760	600
Количество перлита в матрице чугуна, %	65	50	10

Ускорение эвтектоидного превращения оказывает значительное влияние на микроструктуру отливок из ЧШГ. При увеличении температуры выбивки среднее значение содержания перлита в центральной зоне отливок увеличилось с 10 до 65%. Состав металлической основы чугуна изменялся по толщине стенки отливки на 15–20%.

Размеры графитовых включений соответствовали баллу ШГд25 у наружной поверхности отливки, а в центре стенки наблюдались более крупные включения графита.

Испытания стойкости проводили на 15 изложницах, выбитых из формы при температурах 600, 760–780 и 900–950°C.

Средняя стойкость испытанных изложниц составила 112 наливов, что соответствует расходу 12 кг чугуна с шаровидным графитом на тонну выплавленных сталей.

Лучшие результаты по долговечности показаны изложницами с перлитно-ферритной структурой чугуна, полученные после выбивки отливок из формы при 760–780°C и последующем охлаждении в атмосфере цеха (табл. 3).

Таблица 3

Стойкость изложниц из ЧШГ, полученных при различных температурах выбивки отливок из формы

Температура выбивки, °С	Продолжительность охлаждения в форме, ч	Количество перлита в структуре, %	Средняя стойкость изложниц, количество наливов	Причина выхода из строя
600	13,5	10	107	Сетка разгара
760–780	5,0	50	118	То же
900–950	2,0	65	112	«

Ускорение охлаждения отливки в указанных условиях сопровождается выделением в металле скрытой теплоты перлитного превращения, что способствует уменьшению температурных перепадов в теле отливки и улучшению ее напряженно-деформированного состояния.

Выдержка отливок в форме до температуры 760–780°C сокращена до 5 ч, вместо 24 при выбивке с температуры 400°C. Сокращение выдержки позволяет интенсифицировать производство.



### Выводы

Ускоренное охлаждение отливок изложниц из ЧШГ позволяет изменить структуру металлической основы чугуна с ферритной до перлитно-ферритной с повышением прочности и снижением относительного удлинения металла. Включения графита по форме и размерам при повышении скорости охлаждения затвердевшей отливки практически не изменяются.

Предпочтительной является выбивка отливок изложниц из формы при температурах 760–780 °С. Полученные изложницы были наиболее долговечными. Достигнуто значительное сокращение выдержки отливок в форме, позволяющее интенсифицировать производство.

### Литература

1. Энциклопедия машиностроения. Разд. II. Материалы в машиностроении. Т. II-2. Стали. Чугуны. М., 1980.
2. Зальцман Э.С. Изложницы для легированных сталей. Электро-сталь: ЭПИ МИСиС, 2004.

УДК 621.742.4

**А.П. Фирстов, Н.Д. Фирстова**

Нижнетагильский технологический институт (филиал)  
Уральского федерального университета

### **ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ КИСЛОТ СРЕДНЕЙ СИЛЫ ПРИ ОТВЕРЖДЕНИИ ЩЕЛОЧНЫХ СИЛИКАТОВ НАТРИЯ**

Взаимосвязь модуля, плотности и вязкости щелочных жидких стекол (натриевых и калиевых) хорошо известна из литературы, например, по публикациям А. М. Матвеева, Ю.П. Васина, А. И. Рабухина, В. И. Корнеева и по работам других авторов [1–5].

Не меньший интерес представляет реакция натриевых силикатов в щелочной среде с кислотами. Продукт реакции зависит не только от применяемого натриевого жидкого стекла, но и от свойств участвующей в реакции кислоты.

Взаимосвязь жидких стекол и кислот с различными свойствами и природой недостаточно освещена в технической литера-

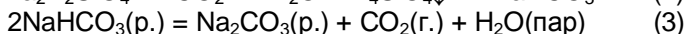
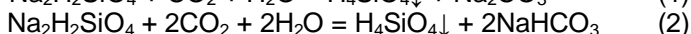
туре, хотя является определяющей при использовании в литейном производстве.

Характеристики кислот с различной степенью диссоциации (силой кислоты) и характер поведения их в процессе реакции с жидким стеклом приводят к различным, отличающимся по свойствам, продуктам реакции. Ход процесса в большей мере зависит от силы кислоты и основания [6].

Так, при использовании сильных кислот, где степень диссоциации лежит в интервале 30–100% [7], в реакции с натриевым жидким стеклом при их слиянии возможно получение гетерогенной структуры раствора. Раствор расслаивается на дисперсную среду, представляющую из себя молочный осадок ортокремниевой кислоты, и дисперсионную, включающую в себя водный раствор примененного кислотного остатка и катиона натрия  $\text{Na}^{+1}$ . Снижение концентрации кислоты для придания более мягких условий протекания данной реакции, приведет к введению в сферу реакции излишних объемов воды, которые впоследствии скажутся на прочностных свойствах жидкостекольной смеси. Кислородсодержащие сильные кислоты при взаимодействии с жидким стеклом ведут себя более активно, чем бескислородные и сильные органические кислоты. Так, по Григорьеву: «коагуляция золя кремнезема серной кислотой происходит значительно скорее, чем соляной и всеми остальными минеральными и органическими кислотами» [8].

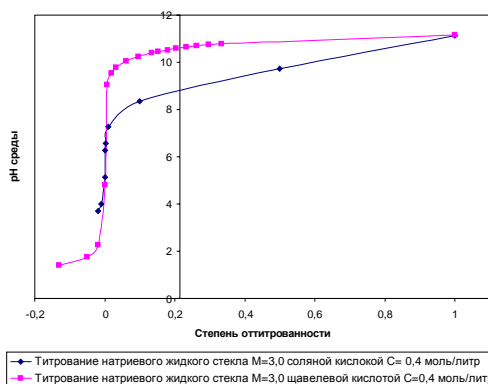
Применение слабых кислот со степенью диссоциации  $\leq 3\%$  затруднено получением высоких концентраций ввиду их низкой растворимости в воде, тем самым, не давая получить растворы слабых кислот с высокой концентрацией, необходимой для успешного отверждения жидкого стекла. Малахов считает [9], что вещества, получаемые из растворов слабых кислот, плотные и беспористые, что скажется на газопроницаемости жидко-стекольных смесей. Кроме того, константа диссоциации слабой кислоты в водном растворе сложным образом зависит от температуры [10]. По своей природе низкая степень диссоциации слабой кислоты в присутствии ее солей сильно понижается, что приводит к усложнению расчетов при применении жидкого стекла на производстве [11]. При использовании слабых кислот возможен риск передозировки вводимой кислоты в сферу реакции. Реакция с избытком слабой кислоты приводит к получению кислых солей при использовании двух- и более основных слабых кислот. А температура плавления кислых солей, как правило, намного ниже температуры плавления средних солей. Примером может являться  $\text{CO}_2$ -процесс. В каче-

стве отвердителя щелочного силиката натрия используется углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ):



При стехиометрических отношениях исходных веществ реакция идет по уравнению (1) с образованием карбоната натрия ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) с температурой плавления средней соли, равной  $852^\circ\text{C}$ , а избыток  $\text{CO}_2$  приводит к образованию гидрокарбоната натрия ( $\text{NaHCO}_3$ ), и реакция идет по уравнению (2) с температурой плавления кислой соли, равной  $270^\circ\text{C}$ . В водных растворах при повышенных температурах гидрокарбонат натрия начинает разлагаться в интервале температур  $60\text{--}200^\circ\text{C}$  с образованием водяного пара и углекислого газа (3), что приведет к возникновению внутренних напряжений и трещин в отвердевшей жидкостекольной смеси с резким снижением прочности [12].

Применение кислот средней силы, где степень диссоциации лежит в интервале  $3\text{--}30\%$ , связано с тем, что в ходе реакции создаются более благоприятные условия для ее прохождения. Излом кривой резко выражен, и точки эквивалентности устанавливаются с высокой точностью [13], а перед спадом наблюдается широкая область, соответствующая буферной [14], в которой при добавлении кислоты pH среды изменяется незначительно (см. рисунок). Данное свойство раствора жидкого стекла поддерживать постоянное значение pH при введении основано на способности щелочных силикатов связывать ионы  $\text{H}^+$  в нерастворимое соединение ( $\text{H}_4\text{SiO}_4\downarrow$ ) [5].



Титрование натриевого жидкого стекла с модулем  $M = 3$  кислотами разной силы

По данным Лившина Л.П. [15], натриевое жидкое стекло не коагулирует и остается стабильным во времени при добавлении кислых реагентов до значения среды  $\text{pH} > 10,9$ . Для достижения  $\text{pH} = 10,9$  необходима значительная степень оттитрованности. Анализируя данные с различными натриевыми жидкими стеклами и кислотами средней силы, значение степени оттитрованности составляет 0,785 [16], и резкое изменение  $\text{pH}$  среды наблюдается только после нейтрализации значительной части всей щелочи, что соответствует ординате на рисунке.

Таким образом, для успешного протекания реакции щелочных силикатов натрия с кислыми реагентами и получения необходимого продукта реакции с определенными свойствами желательное применение кислых реагентов со степенью диссоциации 3–30%. К кислым реагентам средней силы можно отнести не только неорганические кислоты, но и большинство органических кислот, альдегидов и сложных эфиров.

### Литература

1. Матвеев М.А., Рабухин А.И. Исследование физико-химических свойств жидких стекол в связи с их строением // Исследования в области термохимии: тр. МХТИ. М., 1962. Вып. 38. С. 32–43.
2. Матвеев М.А., Рабухин А.И. О строении жидких стекол // Журнал ВХО им. Д.И.Менделеева. 1963. Т.VIII, №2.
3. Васин Ю.П., Васина З.М. Формовочные материалы и смеси: учеб. пособие. Ч. 3. Челябинск: ЧПИ, 1982. С. 12.
4. Жидкостекольные формовочные смеси с улучшенными свойствами / Ю. П. Васин и др. // Литейное производство. 1986. №4. С. 11–12.
5. Корнеев, В.И., Данилов В.В. Растворимое и жидкое стекло. СПб.: Стройиздат, 1996. 215 с.
6. Киреев В.А. Краткий курс физической химии. М.: Химия, 1970. 640 с.
7. Зайцев О.С. Общая химия. Состояние веществ и химические реакции: учеб. пособие для вузов. М.: Химия, 1990. 352 с.
8. Григорьев П.Н., Матвеев М.А. Растворимое стекло (получение, свойства и применение). М.: Госстройиздат, 1956. С. 419–420.
9. Малахов А.И, Тютина К.М. Коррозия и основы гальваностегии. М.: Химия, 1977. 216 с.
10. Виноградова Е.Н. Методы определения концентрации водородных ионов: учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1956. 156 с.

11. Надеинский Б.П. Теоретические обоснования и расчеты в аналитической химии: учеб. пособие для химико-технологических вузов и факультетов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Сов. наука, 1956. 448 с.
12. Илларионов И.Е., Петрова Н.В. Жидкостекольные смеси, отверждаемые продувкой углекислым газом // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. №2(87). С. 208–213.
13. Худякова Т.А., Крешков А.П. Кондуктометрический метод анализа. М.: Высш. шк., 1975. 208 с.
14. Комплексоны в химическом анализе / Р. Пршибил; авт. теорет. части И. Корыта, пер. с чеш. Ю.И. Вайнштейн; под ред. Ю.Ю. Лурье. 2-е полностью перераб. и расшир. изд. М.: Изд-во иностр. лит., 1960. 580 с
15. Лившин Л. П. Противопрigarные смеси с добавкой дистенсиллиманита // Технология и организация производства. 1975. № 12. С. 50–51.
16. Фирстов А.П. Литейные противозерозионные формовочные покрытия на связующем из модифицированного жидкого стекла: дис. ... канд. тех. наук. Челябинск: Южно-Уральский государственный университет, 2008. 149 с.

УДК 621.74

**А.П. Емельянов, В.П. Чернов**

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

**И.В. Кривенков**

ЗАО «Механоремонтный комплекс»

### **РАЗРАБОТКА СОСТАВА СТЕРЖНЕВОЙ СМЕСИ НА ОСНОВЕ ХТС И CO<sub>2</sub> ПРОЦЕССОВ ДЛЯ СТАЛЬНОГО ЛИТЬЯ**

В условиях литейного цеха основным способом изготовления стержней являются ХТС смеси.

Данный процесс наиболее эффективный для производства ввиду высокой прочности получаемых стержней и простоты изготовления.

Но данный процесс имеет свои недостатки, такие как невозможность получения отверстий малого диаметра и низкая живу-

честь смеси. При применении  $\text{CO}_2$  процесса, наоборот, мы имеем достаточно высокую живучесть смеси, но значительно меньшую прочность полученных стержней.

***В связи с этим было принято решение разработать состав стержневой смеси на основе ХТС и  $\text{CO}_2$  процесса, заменив такие материалы, как песок на хромитовый концентрат и смолу АЛКАСЕТ NB на смолу «Литофен».***

Предлагаемая смола дает нам возможность повысить живучесть смеси настолько, что она будет сравнима с применением  $\text{CO}_2$  процесса.

Применение хромитового концентрата позволит исключить образование металлизированного пригара в отливках.

Основные цели исследования:

- осваивать новые виды литья, изготовление которых ранее требовало дорогостоящих затрат на механическую обработку;
- повысить живучесть смеси;
- исключить образование пригара;
- снизить трудоемкость при обработке полученного литья;
- доказать возможность получения отверстий малого сечения.

Все вышесказанное приведет к уменьшению цикла производства отливок, снижению затрат и увеличению качества получаемой продукции.

На рис. 1 изображена форма с проставленными стержнями. Сечения стержней 5, 10, 15, 20 и 25 мм (рис. 2).



Рис. 1. Форма в сборе



Рис. 2. Стержни различного размера

Получившаяся отливка показана на рис. 3.

Высота также была различной и составляла 40, 70 и 100 мм.

Также было сделано 4 состава стержневой смеси с различным содержанием смолы 2; 2,5; 3 и 3,5%.



Рис. 3. Отливка после выбивки

При детальном рассмотрении отливок видно, что во всех случаях отверстия пролились и после выбивки высыпались.

Также необходимо отметить, что стержни с содержанием смолы 2 и 3,5% производить нежелательно ввиду того, что при содержании 2% стержни получают хрупкими и достаточно легко ломаются (особенно с минимальным сечением).

Стержни же с содержанием смолы 3,5% очень быстро застывают на воздухе, если лежат не прикрытыми, и с ними сложно работать при изготовлении.

Для расчета экономической эффективности были выбраны отливки-представители: решетка разгрузочная наружная и решетка разгрузочная внутренняя по заказу 8991998-4,7.

С помощью программы ADEM был вычерчен стержень. Расчет показал, что объем 19 стержней, необходимых для производства данной отливки, равен  $908,2 \text{ см}^3$ .

Так как плотность хромового концентрата около  $2,7 \text{ г/см}^3$ , то для производства необходимого количества стержней потребуется  $2,5 \text{ кг}$  смеси.

Расчет экономической эффективности при производстве 1 решетки разгрузочной внутренней представлен в таблице.

Расчет экономической эффективности при производстве 4 отливок «Решетка разгрузочная внутренняя» и 8 отливок «Решетка разгрузочная наружная»:

«Решетка разгрузочная внутренняя»:  $4 \times 29\,906 = 119\,624$  рублей;

«Решетка разгрузочная наружная»:  $8 \times (2 \times 30 \times 787) = 377\,760$  руб.

Общие затраты на производство 12 отливок с механической обработкой:

$$119\,624 + 377\,760 = \underline{\underline{497\,384}} \text{ руб.}$$

При производстве отливок со стержнями:

«Решетка разгрузочная внутренняя»:  $4 \times 53,1 = 212,4$  руб.;

«Решетка разгрузочная наружная»:  $8 \times 53,1 = 424,8$  руб.

Общие затраты на производство 12 отливок без механической обработки:

$$212,4 + 424,8 = \underline{\underline{637,2}} \text{ руб.}$$

Исходя из вышесказанного можно сделать следующие выводы:

- применение разработанных составов открывает возможность получать литые отливки высокого качества, изготовление которых ранее не представлялось возможным без применения механической обработки;

- применение хромитового концентрата исключает образование пригара, в связи с этим снижается трудоемкость очистных работ;

- применение данного состава смеси позволит нам пересмотреть технологии изготовления других видов литья;

- применение данного процесса позволяет получать сечения малого диаметра (до 5 мм).



Результаты расчета экономической эффективности  
при производстве 1 решетки разгрузочной внутренней

Разработанный состав	%	Стоимость, руб.	Обычный состав	%	Стоимость, руб.	Обычный состав	%	Стоимость, руб.
Углекислота	0,8	19400	Хромовый концентрат	97	20800	Песок кичигинский	97	631,11
Смола «Литофен»	2,2	41420,36	Смола АЛ-КАСЕТ NB	2,2	32320	Смола АЛ-КАСЕТ NB	2,2	32320
Хромовый концентрат	97	20800	Отвердитель АМС-10	0,8	70350	Отвердитель АМС-10	0,8	70350
Затраты на производство 1 отливки	$(2,5 \times 0,008 \times 19400 + 2,5 \times 0,022 \times 41420,36 + 2,5 \times 0,97 \times 20800) / 1000 = 53,1$ руб.		Затраты на производство 1 отливки	$(2,5 \times 0,008 \times 70350 + 2,5 \times 0,022 \times 32320 + 2,5 \times 0,97 \times 20800) / 1000 = 53,6$ руб.		Затраты на производство 1 отливки	$(1,5 \times 0,008 \times 70350 + 1,5 \times 0,022 \times 32320 + 1,5 \times 0,97 \times 631,11) / 1000 = 2,8$ руб.	
Станко-час	787 руб./ч		Станко-час	787 руб./ч				
Затраты на механическую обработку 1 отливки	Не требуется		Затраты на механическую обработку 1 отливки	На сверлении 1 отверстия потребуется около 2 часов, значит $2 \times 19 \times 787 = 29906$ руб.				

## Раздел 3

# МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМООБРАБОТКА СПЛАВОВ И ОТЛИВОК

УДК 669

**Е.А. Чернышов, В.А. Решетов, А.Д. Романов**

Нижегородский государственный технический  
университет им. Р.Е.Алексеева

## РАЗВИТИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Большинство действующих на современных литейных производствах структур, занимающихся автоматизированным проектированием технологий, в качестве конечного продукта реализуют 2D документацию, как правило, в бумажной форме, которая впоследствии используется для изготовления оснастки, в том числе и на оборудовании с числовым программным управлением. Такое несоответствие принципов автоматизации с реальностью снижает качество продукции и отрицательно влияет на внедрение новых технологий.

Реализация принципа сквозного проектирования, являющегося основополагающим при создании цифрового производства, базируется на использовании трехмерных моделей на всех стадиях технологической подготовки. Это позволяет исключить ошибки, неизбежно возникающие при переводе информации из одного формата в другой, и снижает влияние человеческого фактора.

CAD приложения позволяют оптимизировать модель детали и литниковой системы в целях оптимального расположения точки (точек) постановки питающей прибыли по результатам конечно-элементного моделирования процесса кристаллизации и затвердевания металла, залитого в форму, геометрических характеристик питающей прибыли, определения оптимальной точки подвода литниково-питающей системы, к литниковой модели, выбрать оптимальный тип литниково-питающей системы ее геометрии, технологические параметры литейной технологии (время и скорость заливки, оптимальная температура заливки и т.п.) [1].

Для оценки достоверности разработанной CAD-модели с точки зрения литейной технологии применяется математическое моделирование тепловых и гидравлических процессов. Для этого используется программная среда – CAE LVMFlow CS.

В качестве методики моделирования используется метод конечных элементов, который базируется на уравнениях тепломассопереноса в интегральном виде. Область, в которой решаются уравнения, разбивается на элементы, внутри которых строятся аппроксиманты функций на основе системы базисных функций, определенных на элементе.

На рис. 1–4 представлены результаты моделирования в LVMFlow CS одного из возможных вариантов технологии изготовления отливки корпус подшипника, материал ВЧ50 7293-85, масса отливки с литниково-питающей системой 380 кг.

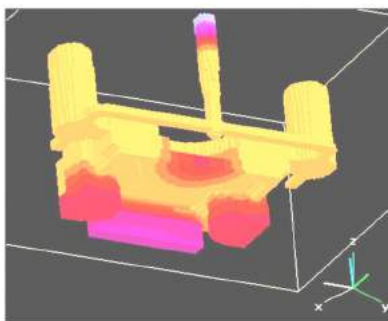


Рис. 1. Распределение теплового поля отливки

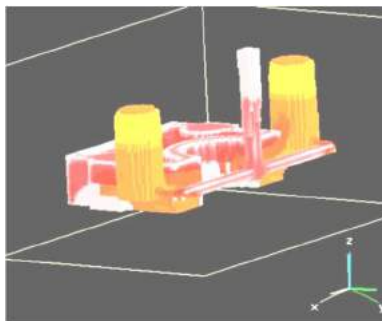


Рис. 2. Содержание жидкой фазы в полости формы

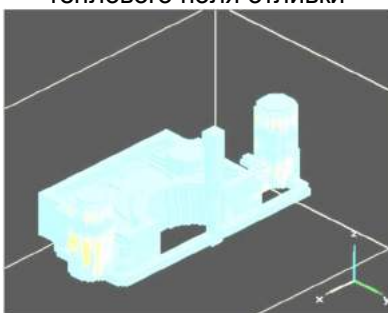


Рис. 3. Распределение скоростей перемещений тепловых потоков

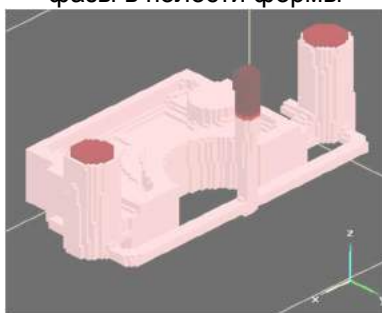


Рис. 4. Прогноз усадочных дефектов по объему отливки

Основным функциональным назначением данного программного комплекса является возможность получения распределения температурно-фазовых полей в отливке и технологической форме, количества незатвердевшей жидкой фазы, полей скоростей и давлений, места образования усадочных раковин и микропористости.

Проведенные исследования математической модели делают возможной адекватную доработку цифрового прототипа объекта, что позволяет сформировать качественное решение, реализуемое затем в реальном объекте. Полученные результаты моделирования затем используются при проектировании оснастки, что значительно снижает сроки и повышает качество ее изготовления.

Системы автоматизированного проектирования литейных технологий, на современном этапе, должны включать в себя не только системы компьютерного моделирования, но и обладать возможностями быстрой, по сравнению с традиционными методами, реализации конструкторских и технологических решений в конечный продукт. Это возможно при применении технологий быстрого прототипирования (Rapid Prototyping).

Для изготовления моделей в литейных цехах многих предприятий существуют модельные отделения, которые, как правило, оснащены дерево- и металлообрабатывающими станками. Эти отделения занимают много места, пыль и стружка, невозможность изготовить несколько абсолютно идентичных изделий, наличие специально обученного персонала, трудоёмкость процесса – это неполный перечень основных недостатков традиционного изготовления мастер-моделей. Современные 3D принтеры имеют точность построения детали выше 0,1 мм, причем в случае применения технологии литья по выплавляемым моделям возможно распечатать на 3D принтере мастер-модель и по силиконовой форме изготавливать восковки либо распечатать пресс-форму для непосредственного литья восковой массы.

На факультете материаловедения и высокотемпературных технологий НГТУ внедрен и используется в процесс подготовки бакалавров и магистров следующий учебный цикл, реализующий процесс технологической подготовки литья на базе применения RP технологии [2].

1. Проектирование отливки и разработка литниково-питающей системы в среде CAD. При наличии прототипа объекта применяется 3D сканирование с использованием оборудования RangeVision и Roland.

2. Математическое моделирование и оценка технологических параметров литья на базе CAE систем.
3. Изготовление прототипа оснастки или пресс-формы на 3D принтере с послойной печатью из полимерных материалов. Также реализуется технология фрезерного изготовления оснастки с использованием CAM системы ADEM.
4. Изготовление восковок на оборудование собственного изготовления и стандартных термических печей.
5. Изготовление оболочковых форм.
6. Плавка в индукционных печах малой мощности и разливка цветных сплавов, в том числе с разливкой в вакууме или защитной атмосфере.
7. Контроль геометрии изготовленной детали с помощью 3D сканирования и анализа программного обеспечения Geomagic Qualify Probe.
8. Исследование внутренней структуры изделия с помощью оборудования неразрушающего контроля (дефектоскопы) и с помощью микроскопов.

Одним из примеров могут служить работы, выполняемые в рамках проекта Formula SAE / Formula Student, по созданию гоночного автомобиля для участия в международных соревнованиях, проводимых Ассоциацией инженеров-механиков (ImechE), обществом автомобильных инженеров США (SAE) и Ассоциацией инжиниринга и технологий (I&T), входящих в Серию Студенческих Инженерных соревнований (Collegiate Design Series) SAE.

Были выполнены следующие работы: с помощью 3D принтера изготовлены пластиковые модели дистанционного элемента подвески, коромысел задней и передней подвески, главного тормозного цилиндра тормозной системы, крепления сервопривода и др., затем были выполнены литейные формы, после выполнена плавка и разливка алюминиевых сплавов, затем механическая обработка отливок. На приведенных рисунках: отливка после выбивки из формы (рис.5), отливка после частичной механической обработки (рис.6), изделие, установленное на создаваемый гоночный автомобиль (рис.7).

Также в настоящий момент становится крайне актуальным управление жизненным циклом сложных инженерных объектов. На Западе проблемой необходимости сопровождения сложных изделий и после продажи, вплоть до утилизации, ведутся уже давно. Большой вклад в эту область внесли американские военные, сформулировавшие в 1980-е годы концепцию CALS (Continuous

Acquisition and Life Cycle Support, то есть «Непрерывная поддержка закупок и жизненного цикла»). За прошедшие годы CALS-технология получила широкое развитие в оборонной и прочих высокотехнологических и ресурсоемких отраслях промышленности США. В таких сложнейших инженерных объектах, как атомные, тепловые станции, гидростанции, крупные металлургические и нефтеперерабатывающие заводы, проблема управления жизненным циклом не менее актуальна.

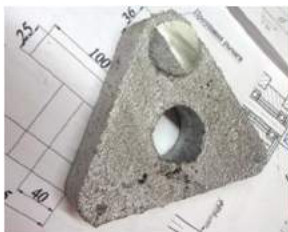


Рис. 5. Отливка после выбивки из формы



Рис. 6. Отливка после частичной механической обработки



Рис. 7. Изделие, установленное на создаваемый гоночный автомобиль

«Управление жизненным циклом» продукта (Product Lifecycle Management или PLM) – это стратегический бизнес-подход и интегрированное решение для коллективной разработки, управления, распространения и использования информации в рамках предприятия и между его партнерами от момента формирования концепции до вывода продукции с рынка, объединяющие людей, процессы, бизнес-системы и интеллектуальные активы» [3].

Основными задачами PLM являются:

- сокращение сроков и снижение стоимости вывода на рынок новой продукции, снижение стоимости самой продукции и повышение эффективности её эксплуатации;
- обеспечение полноты, согласованности, контролируемой доступности информации о конфигурации, эксплуатации, состоянии объекта в рамках предприятия;
- обеспечение информационной поддержки принятия управленческих решений с учетом всех этапов жизненного цикла продукции;
- поддержка основных бизнес-процессов предприятий и их интеграция между этапами жизненного цикла и функциональными рабочими местами.

### **Заключение**

Комплексный подход с использованием современного оборудования позволяет подготовить квалифицированных специалистов для промышленности, которые на практике осваивают полный цикл изготовления сложных изделий, способных после окончания института сразу приступить к работе с современным наукоемким оборудованием и передовыми технологиями [4].

### **Литература**

1. Чернышов Е.А., Евстигнеев А.И., Евлампиев А.А. Литейные дефекты. Причины образования. Способы предупреждения и исправления. М., 2008.
2. Чернышов Е.А., Романов А.Д. Внедрение в учебный процесс подготовки кадров технологии быстрого прототипирования // Литейные процессы. Вып. 11. Магнитогорск, 2012. С. 280–284.
3. Шершульский В.Е. Как и зачем управлять жизненным циклом продукции // Информатизация промышленности. 2005. №6.
4. Чернышов Е.А., Евлампиев А.А. Об актуальности подготовки кадров для литейного производства // Современные наукоемкие технологии. 2010. № 10. С. 169–170.

УДК 669.14.018.256

**А.Б. Сычков, С.О. Малашкин, О.Б. Макарушина**

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

### **ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕПРЕРЫВНО-ЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ И ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА БУНТОВОГО ПРОКАТА**

В условиях ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ММК) освоено производство бунтового проката диаметром 15,5–16,0 мм из высокоуглеродистой стали 80P и 80XFЮ для изготовления высокопрочной стабилизированной проволоки диаметром 9,6 мм, для армирования железобетонных шпал нового поколения, для высокоскоростных и тяжело нагруженных железнодоро-

рожных магистралей. Однако в процессе освоения выявился ряд негативных моментов относительно качества металла.

Химический состав сталей 80P и 80-ХФЮ характеризуется относительно высоким содержанием кремния и алюминия – соответственно 0,20–0,37 и 0,010–0,030% при фактическом их содержании в стали 0,25–0,33 и 0,010–0,018%, что обуславливает формирование в стали достаточно крупных (протяженность от 30 до 150 мкм) неметаллических включений (НВ) комплексного химического состава. В частности, на базе недеформирующихся силикатов ( $\text{SiO}_2$ ) и оксидов точечных, недеформирующихся алюминатов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Наличие в стали недеформирующихся НВ приводит к массовым обрывам при волочении катанки.

Достаточно высокая степень загрязненности стали НВ предполагает применение модифицирования металла с целью снижения размеров и изменения их химического состава. Кроме того, модифицирование металла, в частности кальцием и бором, сокращает или даже исключает зону столбчатых кристаллов (ЗСК) при непрерывной разливке. Сокращению ЗСК способствует также применение и ЭМП. Использование кальцийсодержащего материала в несколько приемов на установке ковш-печь (УКП) для улучшения условий модифицирования НВ (измельчения включений, снижения их вязкости, изменения их химического состава) достаточно эффективно. Снижение НВ и изменение их свойств будет возможным с использованием модифицирования стали Са+РЗМ лигатурой, при обработке стали белыми синтетическими шлаками при сливе металла из ДСП в СК и с применением полностью магнезиального СК.

В технологический процесс производства стали были внесены изменения: полный отказ от обработки и раскисления металла алюминием, изменение отношения марганца к кремнию – не менее 3.

Опробование вышеуказанных технико-технологических мероприятий дало положительные результаты, что резко снизило обрывность (с 0,34 до 0,10  $\text{т}^{-1}$ ) при последующем волочении проката в бунтах.

Для упрочняющей термической обработки в потоке линии двустадийного охлаждения Стелмор [1–5] из высокоуглеродистой стали для армирования железобетонных конструкций желательнее обеспечить структуру однородного аустенита с относительно крупным зерном с целью обеспечения формирования мелкодисперсной структуры пластинчатого перлита. Использование межкритического интервала температур (МКИТ) не желательнее, так как двухфазная  $\gamma/\alpha$  структура является значительным структурным концентратором напряжений, обуславливающим формирование и



развитие микротрещин с последующим макроразрушением металла. Кроме того, в МКИТ возможно формирование неравновесных пленочных выделений структурно-свободных феррита и цемента, ухудшающих пластичность металла.

Последующее охлаждение после аустенитизации с достаточно высоких значений (950–980°C – температуры виткообразования) на воздушной стадии для высокоуглеродистого проката должно быть весьма интенсивным (скорость охлаждения – 25–30°C/с) и равномерным по сечению и длине витка и бунта такого проката.

Массовые обрывы при волочении катанки на метизном переделе обусловлены также неоптимальными режимами упрочняющей термической обработки в потоке проката высокоуглеродистой стали, реализуемые в условиях стана 170 ММК, предложенных фирмой-изготовителем оборудования – итальянским концерном Даниели. Эта технология заключалась в следующем: температура виткообразования: 840–880°C, низкая охлаждающая способность на секции воздушного охлаждения и низкая скорость транспортирования витков по роликовому транспортеру – 0,15 м/с. Такой режим приводил к низкой дисперсности перлита и крайне неравномерной структуре и свойствам металла по длине витка. В результате происходил частый обрыв катанки на метизном переделе. Впоследствии было исключено интенсивное воздушное вентиляционное охлаждение (режим охлаждения на спокойном воздухе – режим прокатной нормализации), что несколько повысило однородность структуры и свойств проката по длине витка и обеспечило достаточно равномерную структуру сорбита после патентирования, но обусловило формирование по диффузионному механизму ликвационного структурно-свободного цемента (СЦ) по границам перлитных колоний и повышенную обрывность при волочении такого проката.

Для оптимизации режимов упрочняющей термообработки увеличили температуру виткообразования до 950–980°C – оптимальная температура аустенитизации металла для максимальной сорбитизации перлитной структуры; скорость роликового транспортера витков – 0,5–0,8 м/с; в секции воздушного охлаждения – работа вентиляторов на максимальной мощности. Так как для формирования структуры и свойств бунтового проката на крупных диаметрах огромное влияние оказывает интенсивность воздушного охлаждения для проработки всего сечения от поверхности до сердцевины с целью обеспечения в высокоуглеродистом прокате структуры высокодисперсного пластинчатого перлита – сорбита

или сорбитизированного перлита, регламентированного ГОСТ 8233-56.

Такая технология термомеханической обработки бунтового проката на линии Стелмор позволяет получить более дисперсный перлит, однородно распределенный по длине витка проката, что обеспечивает высокую технологичность переработки металла на метизном переделе и при производстве железобетонных шпал нового поколения. Общая обрывность при волочении снизилась до  $0,01 \text{ т}^{-1}$ .

Проведение модернизации линии Стелмор стана 170 сортового цеха ОАО «ММК», с целью обеспечения высокой скорости охлаждения бунтового проката большой толщины и получения однородной структуры сорбитообразного перлита по всему поперечному сечению проката, позволит исключить операцию патентирования проката перед волочением с получением значительного технологического и экономического эффекта.

С целью повышения экономической эффективности и экологической чистоты производства на метизном переделе реконструируемая линия Стелмор обеспечит свойства воздушной окалины на поверхности катанки для ее механического удаления на всем сортаменте металлопродукции за счет эффективной системы охлаждения катанки на водяной и воздушной секциях линии Стелмор.

### Литература

1. Гуляев А.П. *Металловедение*. М.: Металлургия, 1977. 648 с.
2. Режим двустадийного охлаждения катанки из стали 80КРД на линии Стелмор / Э.В. Парусов, В.В. Парусов, М.Ф. Евсюков, А.И. Сивак, А.Б. Сычков // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2006. № 3. С. 64–67.
3. Разработка режима двустадийного охлаждения катанки из стали С80Д2, легированной бором и ванадием / Э.В. Парусов, В.В. Парусов, Л.В. Сагура, А.И. Сивак, А.П. Клименко, А.Б. Сычков // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2011. № 3. С. 53–56.
4. Парусов В.В., Сычков А.Б., Парусов Э.В. *Теоретические и технологические основы производства высокоэффективных видов катанки*. Днепропетровск: Арт-Пресс, 2012. 376 с.
5. Сычков А.Б. *Технологические аспекты производства качественной катанки* // *Вестник Магнитогоского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2006. № 4 (16). С. 63–69.

---

УДК 621.833:621.785.5

**М.Ю. Большакова**

Российский государственный  
профессионально-педагогический  
университет, г. Екатеринбург

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ СТАЛИ 30ХМЛ ПОСЛЕ ЗАКАЛКИ ПРИ ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВЕ**

Известно, что стали, используемые для изготовления износостойких отливок, имеют широкий диапазон применения в технике – от зубчатых колес до зубьев ковшей экскаваторов и других массивных отливок, работающих в условиях интенсивного динамического нагружения. Однако существует необходимость в термической обработке деталей машин, изготавливаемых из литых сталей, обусловленная неблагоприятной структурой литой стали, а именно наличием зерен разного размера по сечению отливки, вероятным образованием видманштеттовой структуры, наличием литейных напряжений. Перечисленные факторы резко снижают механические свойства стали и, как следствие, не обеспечивают требуемые износостойкость и долговечность деталей машин.

В связи с этим отливки из литых сталей, как правило, подвергают не только предварительной, но и окончательной термической обработке. Предварительная термическая обработка состоит из нормализации или полного отжига с целью фазовой перекристаллизации сплава, устранения внутренних литейных напряжений, повышения механических свойств и подготовки структуры к окончательной термической обработке, которая в свою очередь заключается из термической, химико-термической обработки поверхности, или поверхностной закалки с нагревом токами высокой частоты.

С целью определения влияния предварительной термообработки на структуру стали после проведения окончательной термической обработки был разработан эксперимент, включающий в себя варьирование температурой отжига исследуемых деталей и их последующую индукционную закалку. В качестве опытных деталей была использована партия крупномодульных зубчатых колес, применяемых в электромеханическом приводе карьерного экскаватора ЭКГ-5А, из литой стали 30ХМЛ с модулем  $m = 26$  мм, рабо-

тающих под воздействием повышенных статических и динамических нагрузок.

В ходе предварительной термообработки доэвтектоидной стали 30ХМЛ был осуществлен полный отжиг зубчатых колес в рабочем пространстве камерной печи при различных температурах в интервале от 830 до 900°С. С целью получения высоких прочностных свойств рабочей поверхности зубьев была осуществлена поверхностная закалка с нагревом токами высокой частоты опытных зубчатых колес, которую проводили на машинных генераторах повышенной частоты типа ПВВ с одновременным нагревом контактных поверхностей зубьев и впадин последовательно – «зуб за зубом». Для проведения закалки были использованы индукторы с дополнительным спрейером. Индуктор точно повторяет контур трех зубьев с учетом заданного зазора между ним и деталью. При выполнении индукционного нагрева мощность генератора была равна 45 кВт, а скорость движения индуктора – 4 мм/с. Эти и другие технологические параметры индукционной закалки исследуемых зубчатых колес приведены в таблице. Следует отметить, что при закалке индуктором этой конструкции охлаждение впадин происходит за счет слива охлаждающей жидкости с рабочей поверхности зуба. В качестве охлаждающей среды был применен 33% водный раствор глицерина [1]. После закалки и последующего низкотемпературного отпуска при 180<sup>±5</sup> °С в течение двух часов детали визуально подвергали проверке на наличие закалочных трещин.

#### Технологические параметры индукционной закалки

Исследуемые параметры		Значения параметров
Напряжение генератора, В		280
Ток, А	генератора	170
	возбуждения	3,2
	контура	400
Мощность генератора, кВт		45
Скорость индуктора, мм/с		4
Зазор, мм		3
Охлаждающая среда		33% водный раствор глицерина

Известно, что в легированных литых сталях усложняются процессы, протекающие при нагреве и охлаждении. Образуются сложные карбиды, которые растворяются в аустените при более высоких температурах. Поэтому для максимального использования влияния легирующих элементов на механические свойства

сплава нагрев рекомендуется проводить до температуры выше точки  $A_{c3}$  примерно на  $70\text{--}100^\circ\text{C}$  [2]. Однако нагрев зубчатых колес из стали 30ХМЛ до температуры, равной  $900^\circ\text{C}$ , вызывает резкий рост зерна аустенита и, как следствие, приводит к образованию перлитных колоний, перемежающихся участками ферритных полей (рис. 1, а). Изучение микроструктуры образцов, вырезанных из опытных колес после индукционной закалки, выявило наряду со структурой мелкоигльчатого мартенсита наличие участков феррита в закаленном слое (рис. 1, б), что значительно снижает качество поверхностного слоя детали, способствуя образованию закалочных трещин.



Рис. 1. Микроструктура образцов стали 30ХМЛ,  $\times 300$ :

а – после полного отжига при температуре  $900^\circ\text{C}$ ;

б – после индукционной закалки с последующим низким отпуском

Дальнейшее снижение температуры предварительной термической обработки зубчатых колес показало, что при температуре полного отжига, равной  $830^\circ\text{C}$ , образуется мелкозернистая структура (рис. 2, а). Это обусловлено тем, что при нагреве дозвлектоидной стали 30ХМЛ до температуры выше точки  $A_{c3}$  на  $30^\circ\text{C}$  ферритно-перлитная структура переходит в аустенитную, характеризующуюся мелким зерном, а затем при охлаждении аустенит превращается обратно в феррит и перлит. Таким образом, возникает мелкозернистая структура, обеспечивающая высокую вязкость и пластичность сердцевины детали, а также возможность достижения высоких прочностных свойств рабочей поверхности после окончательной поверхностной обработки. Металлографический анализ контактных поверхностей зубьев показал, что в ходе индукционной закалки ис-

следуемых зубчатых колес в поверхностном слое зубьев была получена структура бесструктурного мелкоигльчатого мартенсита (рис. 2, б) при отсутствии микротрещин в закаленном слое.



Рис. 2. Микроструктура образцов стали 30ХМЛ,  $\times 300$ :  
а – после полного отжига при температуре  $830^{\circ}\text{C}$ ;  
б – после индукционной закалки с последующим низким отпуском

Таким образом, проведенные исследования показали, что для крупномодульных зубчатых колес, изготовленных из доэвтектоидной литой стали 30ХМЛ, можно рекомендовать в качестве предварительной термической обработки полный отжиг при температуре, равной  $830^{\circ}\text{C}$ , который обеспечивает высокую дисперсность ферритно-цементитной смеси и тем самым приводит к повышению пластичности сплава. А в качестве окончательной термообработки – закалку при индукционном нагреве с последующим низкотемпературным отпуском, что в свою очередь обеспечивает высокие прочностные свойства рабочей поверхности зубьев и приводит к увеличению трещиностойкости.

### Литература

1. Большакова М.Ю., Гузанов Б.Н., Мигачева Г.Н. Определение оптимальных условий для проведения закалки при индукционном нагреве крупномодульных зубчатых колес // Вестник машиностроения. 2006. № 2. 2006. С. 32 – 36.
2. Филиппов М.А., Филиппенков А.А., Плотников Г.Н. Износостойкие стали для отливок. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 358 с.

УДК 669.18

**А.Б. Сычков**Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

## **НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ**

Качественные параметры высокоуглеродистой катанки нормируются в нормативной документации (НД) и требованиях потребителей. К этим параметрам можно отнести химический состав стали, дефектность поверхности, степень обезуглероживания, чистоту стали по неметаллическим включениям (НВ), макро- и микроструктуры, механические характеристики и т.п. [1–5]. Однако имеется ряд проблем, которые следует разрешить, чтобы повысить, в целом, комплекс свойств катанки и технологичность её переработки на метизном переделе. Одной из этих проблем является чистота стали по НВ, повышение которой способствует улучшению исходной пластичности катанки и деформируемости её при волочении в проволоку и при свивке в пряжи, канатные конструкции и металлокорд [6–11].

В настоящей работе рассматривается опыт работы автора и коллектива сотрудников на Молдавском металлургическом заводе (ММЗ).

Отработанная технология производства качественной стали с минимизацией ее загрязненности НВ включает: интенсивную обработку стали на агрегате печь-ковш белыми шлаками с глубокой десульфурацией металла, отдачу в несколько приемов в сталь кальцийсодержащего материала (в основном, FeCa порошковой проволокой при помощи трайб-аппарата), вакуумирование стали в камерной установке типа VD, применение ЭМП в кристаллизаторах при непрерывной разливке, полную защиту разливаемой струи от вторичного окисления.

С целью повышения чистоты высокоуглеродистой стали по НВ и выработки критериев предельно допустимой загрязненности металла нами было проведено несколько мероприятий. К ним относятся применение полностью магнезиальных кирпичных сталеразливочных ковшей, в том числе и днища СК (плавка 1, сталь марки С82D), обработка стали на сливе из ДСП в СК белыми, синтетическими шлаками (плавки 2 и 3, сталь 80КРД), модифицирова-

ние НВ смешанной лигатурой, содержащей кальций и редкоземельные металлы (серия плавов 4–11, сталь марки С82D – опытные и контрольные плавки).

### Применение полностью магниезиального СК

Неметаллические включения в НЛЗ (плавка 1) количественно оценивались на кованых пробах от 6-ти темплетов, отобранных от каждого ручья МНЛЗ, по методике ГОСТ 1778, метод Л1. Следует отметить, что во всех образцах подавляющее большинство НВ (97–98,7% оксидов и 91,5–99,2% сульфидов) имеет размеры 0–5,6 мкм (1-я группа НВ по методу Л1 ГОСТ 1778); остальные НВ распределены по размерам таким образом:

- 2 группа (5,9–11,2 мкм): 0,7–4,2% для оксидов и 0,8–6,7% для сульфидов;

- 3 группа (11,5–16,8 мкм): 0–0,9% – оксиды и 0–1,8% – сульфиды;

- 4 группа (17,1–22,4 мкм): 0–0,9% – оксиды; сульфидов нет;

- 5 группа (22,7–28 мкм): 0–0,3% – оксиды; сульфидов нет;

- 7 группа (33,8–39,2 мкм): 0–0,7% оксиды; сульфидов нет.

То есть в кованых образцах НЛЗ наблюдаются достаточно мелкие НВ (оксиды протяженностью до 11,5 мкм в 97,7–100% случаев по отдельным образцам; сульфиды – 16,8 мкм в 100% случаев). Расчетные индексы (оксиды – до  $6,5 \cdot 10^{-3}$ , сульфиды – до  $4,2 \cdot 10^{-3}$ , общий –  $8,6 \cdot 10^{-3}$ ) загрязненности литой стали НВ (то есть удельная длина НВ на 1 мкм длины исследуемого участка, другими словами, от 0,65 до 0,86% базовой длины) также доказывают незначительность загрязненности металла опытной плавки НВ оксидного и сульфидного видов/типов.

Диаграмма Pirelli (методика до 2004 г.) и конкретный анализ химического состава каждого НВ в катанке, участвующего в построении этой диаграммы, показывают удовлетворительное распределение НВ, которое может обеспечить высокую деформационную пластичность при волочении высокоуглеродистой катанки в проволоку диаметром до 0,15 мм без существенной обрывности. Так, запретная зона С ( $h_{НВ} \leq 10$  мкм; плотность НВ  $\leq 20\text{--}40$  см<sup>-2</sup>) в опытной плавке включает всего 1 НВ протяженностью 1 мкм – 1% с плотностью  $\sim 18$  см<sup>-2</sup>. Остальные НВ находятся в оптимальной зоне В и имеют плотность 1395–2441/1808 см<sup>-2</sup>, но весьма малых размеров – не более 6 мкм. Фирма Pirelli признала, что плотность НВ не является представительной характеристикой и в 2004 г. заменила этот показатель на простое процентное соотношение;



например: для металлокорда (см. спецификацию фирмы Pirelli N18.V.008, рев. № 7 от 16.06.04 г.) допускается в зоне С ( $Al_2O_3 \geq 50\%$ ) не более 4% НВ максимальным размером 10 мкм, в зоне В ( $Al_2O_3 = 25-50\%$ ) – не более 20% и в зоне А ( $Al_2O_3 = 0-25\%$ ) – остальные 76% НВ; в зоне А и В протяженность НВ допускается до 30 мкм. Для плавки 1 количество НВ (по новой методике) в зоне С – 1%, в зоне В ~ 5% и в зоне А – 94%. Это подтверждает высокую чистоту по НВ катанки из стали, обрабатываемой в СК, полностью зафутерованного основной магнезиальной массой, обеспечившей наличие в металле мелких и пластичных НВ. Такой металл имеет высокую технологичность при переработке в тонкую проволоку и металлокорд.

### **Обработка стали белыми синтетическими шлаками при сливе металла из ДСП в СК**

С целью снижения загрязненности стали НВ, ускорения процессов их модифицирования была опробована более ранняя обработка стали основными шлаками – на этапе слива металла из ДСП в СК. С этой целью провели опытное производство высокоуглеродистой стали марки 80КРД (плавки 2 и 3) и катанки из неё. Причем обработка осуществлялась белыми шлаками с УКП, полученными при производстве низкоуглеродистой стали с повышенным содержанием алюминия. Металлографическая оценка показывает следующее.

Загрязненность стали НВ в НЛЗ оценивали исследованием кованных темплетов по ГОСТ 1778, метод Л1. Следует отметить, что по индексам НВ (оксидов – до  $9,9 \cdot 10^{-3}$ , сульфидов – до  $8,0 \cdot 10^{-3}$  и суммарный – до  $12,5 \cdot 10^{-3}$ ) плавка 2 несколько чище, чем плавки 3 и 1. НЛЗ плавки 3 наиболее загрязнены НВ. Это подтверждается и распределением НВ по размерным группам.

Диаграммы Pirelli катанки этих двух последних плавок характеризуются тем, что наблюдается очень много НВ в запретной зоне С – соответственно 31 и 11% для плавок 2 и 3. При этом размеры НВ небольшие: соответственно не более 3 мкм (один выпад –  $h = 5$  мкм в зоне В) для плавки 2 и 4 мкм (один выпад – 7 мкм в зоне В) для плавки 3. Максимальное содержание  $Al_2O_3$  (до ~ 68%) в НВ – это негативный результат, который обусловлен наличием в шлаке алюминия. Переход на белые шлаки, полученные в процессе внепечной обработки высокоуглеродистой стали, могут дать положительный эффект – освобождение от НВ зоны С диаграммы Pirelli. С другой стороны, имеется положительный эффект от опыт-

ной обработки стали синтетическими шлаками – прошло модифицирование НВ с их измельчением.

### **Обработка стали Са + РЗМ лигатурой**

В технической литературе [8, 12, 13] приводятся данные о положительном воздействии редкоземельных элементов (РЗМ) как модификаторов жидкой стали, благотворно влияющих на кристаллическую структуру непрерывного слитка и загрязненность стали НВ. В ряде случаев действие РЗМ признается более эффективным, чем таких элементов, как кальций и бор. Так, например, РЗМ сильнее бора влияют на снижение длины зоны столбчатых кристаллов (ЗСК), но бор [14] больше РЗМ влияет на внутреннее строение дендритов. Утверждается также, что РЗМ является более сильным модификатором НВ, чем кальций. Поэтому в условиях ММЗ были опробованы в опытном порядке лигатура Са + РЗМ (примерный состав: 10–12% Са; 15% Mg; 40–45% Si; 10–12% РЗМ: из них до 50 – Се, 25% – La и 25% Nd – неодима или Pr – прозедидума) в серии плавов 4–11. При этом ввод опытной лигатуры несколько варьировался, а именно:

- плавки 4 и 5 – 100 м Са + РЗМ после ввода в сталь бора;
- плавка 6 – 100 м Са + РЗМ до отдачи FeВ за 5 мин;
- плавки 7 и 8 – 150 м Са + РЗМ после отдачи FeВ проволоки;
- плавки 9–11 без обработки Са + РЗМ – контрольный металл.

Следует отметить, что опыты проводились на стали марки С82D, микролегированной ванадием, из которой производится высокопрочная катанка, а затем и проволока для производства арматурных канатов, натяжителей вантовых мостов и т.п. К такому металлу предъявляются высокие требования к НВ и ликвационной однородности. Именно в этом направлении и предназначалось использование Са + РЗМ лигатуры.

Лучшие результаты по чистоте катанки от НВ наблюдаются на плавках 9, 10, 11, 6, в которых сумма удельных НВ соответственно равняется 1,58; 1,70; 1,71 и 1,73, что близко к требованиям к катанке под металлокорд. У остальных плавов этот показатель загрязненности стали НВ почти в 2 раза больше (2,37–2,58). Толщина НВ составляет в лучших плавках СХ – 13 мкм (9); СН – 16 и СХ – 16 мкм (11); СН – 15 мкм (10) и СХ – 8 мкм (6); в других плавках – СХ – 20 мкм (7); СХ – 48 мкм (5); СХ – 25 и СН – 22 мкм (8); СН – 15 и СХ – 18 мкм (4). Вышеуказанные результаты подтвер-

ждаются и диаграммами Pirelli, но со своими оригинальными вариациями. Так, например:

- по толщине НВ, лучшие плавки – 9 ( $h_{\text{НВ}} \leq 4$  мкм), 10 ( $h_{\text{НВ}} \leq 7$  мкм) и 6 ( $\leq 6$  мкм), остальные плавки –  $\leq 9$  мкм;
- по плотности НВ – 10 ( $622 \text{ см}^{-2}$ ); 5 ( $647 \text{ см}^{-2}$ ); 11 ( $688 \text{ см}^{-2}$ ); 4 ( $693 \text{ см}^{-2}$ ); 7 и 8 ( $729 \text{ см}^{-2}$ ) и в плавке 6 ( $1684 \text{ см}^{-2}$ );
- по загрязненности НВ в зоне С: 11 (3%); 8 (8%); 7 (23%); 10 (16%); 4 и 5 (18%); 9 (32%) и 6 (53%);
- по эффективности расположения НВ по зонам диаграммы – плавки 10 и 11 (лучшая плавка).

Таким образом, модифицирование стали лигатурой, содержащей Са и РЗМ, при первичном опробовании не дало положительного эффекта. Тем не менее наиболее оптимальными выглядят плавки 9 и 6 (оценка – по ГОСТ 1778, метод Ш4) и плавки 9 и 8 (оценка – по методике фирмы Pirelli). Однако плавки 9 и 6 не соответствуют требованиям к высококачественной катанке по химическому составу НВ (зона С –  $\text{Al}_2\text{O}_3 > 50\%$ ), плавка 8 имеет очень крупные единичные НВ. В целом, металл без лигатуры значительно чище по НВ.

Тем не менее можно рекомендовать повторить опыты по модифицированию стали Са + РЗМ лигатурой с целью поиска наилучшего результата.

### **Оценка предельно-допустимой загрязненности стали НВ с применением коэффициента физической неоднородности**

В работах [8, 9, 15] доказывается, что применение для оценки НВ в стали коэффициента физической неоднородности  $k_{\text{фн}}$  ( $k_{\text{фн}} = S_{\text{НВ}}/S$ , где  $S_{\text{НВ}}$  – суммарная площадь, занимаемая недеформируемыми НВ,  $S$  – площадь поперечного сечения готовой проволоки) и эффективно, и универсально. Поэтому представляется целесообразным представить зависимость  $k_{\text{фн}}$  от предельных размеров единичных НВ и решить обратную задачу, а именно определить количество предельно допустимых НВ в функции от размера НВ и  $k_{\text{фн}}$ . Эти зависимости были получены. Используя эти данные, можно установить приемлемость катанки для конкретного назначения по уровню загрязненности стали НВ.

Расчетным способом установлены значения  $k_{\text{фн}}$  в зависимости от размера единичного недеформируемого НВ ( $h_{\text{НВ/нд}}$ ), диаметра (0,35–0,15 мм) готовой проволоки кордового назначения. В работе [15] регламентировано допустимое значение  $k_{\text{фн}}$  в катанке, например для металлокорда, равное не более 5%. С учетом этого

критерия можно установить, что 5-процентный барьер проходят единичные НВ толщиной не более 35 мкм для диаметра проволоки 0,15 мм, 45 мкм – 0,20 мм и т.п. Однако, как правило, в реальном металле имеется множество мелких и более крупных НВ. Для диаметра готовой проволоки 0,15 мм для обеспечения  $k_{фн}$  не более 5% допустимо наличие до 50 НВ протяженностью (условного максимального размера НВ) 5 мкм, примерно 13 НВ диаметром 10 мкм, 5 НВ диаметром 15 мкм, 1 НВ протяженностью 30 мкм. НВ размером более 35 мкм не допустимы. Для точного расчета предельных критериальных значений необходимо определить площадь всех недеформируемых НВ в поперечном сечении катанки и рассчитать реальное значение  $k_{фн}$ . Идеальная оценка загрязненности стали НВ, по-видимому, состоит в сочетании вышеописанного метода с использованием  $k_{фн}$  и новой методики фирмы Pirelli, ограничивающей НВ по содержанию  $Al_2O_3$ .

### ВЫВОДЫ

С целью снижения загрязненности высокоуглеродистой стали НВ проведено опытное опробование применения полностью магниезных СК, обработки стали синтетическими шлаками при сливе металла из ДСП в СК, а также лигатурой с содержанием кальция и редкоземельных металлов. Кроме того, проанализированы методы оценки НВ и выбора критериев их нормирования.

Использование полностью магниезных СК дало положительный эффект – количество НВ с  $Al_2O_3$  более 50% минимально и отвечает требованиям фирмы Pirelli для катанки под металлокорд.

Обработка синтетическими шлаками обеспечивает модифицирование НВ, однако необходимо применять «белые» шлаки без алюминия.

Лигатура на базе кальция и редкоземельных металлов не дала положительных результатов.

Наиболее оптимальным для оценивания НВ является сочетание  $k_{фн}$  и методики фирмы Pirelli.

### Литература

1. Сравнительный анализ нормируемых показателей качества катанки, проволоки и проволочных изделий из углеродистой стали / А. Б. Сычков, О. В. Парусов, А. М. Нестеренко, М. А. Жигарев // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2002. № 1. С. 52–55.

2. Разработка сквозной технологии производства катанки из качественной углеродистой стали в условиях ММЗ / В. В. Парусов, А. М. Нестеренко, А. Б. Сычков, Р. В. Старов, И. В. Деревянченко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2002. № 2. С. 52–54.
3. О целесообразности ограничения содержания примесей цветных металлов в углеродистой катанке / Н.А. Богданов, А.В. Кутаков, А.Б. Сычков, М.А. Жигарев, В.В. Парусов, А.М. Нестеренко // *Сталь*. 2000. № 1. С. 67–69.
4. Парусов В. В., Вилипп А. И., Сычков А. Б. Влияние примесных элементов на качество углеродистой стали // *Сталь*. 2002. №12. С. 53–55.
5. Глубина обезуглероженного слоя на углеродистой катанке различных заводов-изготовителей / В.В. Парусов, В.А. Луценко, А.Б. Сычков, В.А. Тищенко, А.И. Сивак // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2003. № 5. С. 61–64.
6. Изменения химического состава неметаллических включений на всех этапах производства стали / Р.В. Старов, И.В. Деревянченко, В.В. Парусов, А.Б. Сычков, С.Ю. Жукова, Д.Н. Тогобицкая // *Сталь*. 2005. № 1. С. 79–82.
7. Технологичность высокоуглеродистой катанки на метизном переделе / Э.В. Парусов, В.В. Парусов, В.А. Луценко, А.Б. Сычков, В.В. Артемов, Л.И. Демьянова // *Стальные каналы*. Одесса: Астропринт, 2005. - С. 110–115.
8. Скок Ю.Я. Повышение качества стали путем модифицирования // *Сталь*. 1992. № 8. С. 13–17.
9. Губенко С.И., Парусов В.В., Деревянченко И.В. Неметаллические включения в стали. Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2005. 536 с.
10. Сычков А.Б. Разработка комплексной технологии производства эффективных видов катанки из непрерывно-литой заготовки малого сечения с повышенным содержанием примесей цветных металлов и азота: дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.01 и 05.16.02. – Минск, 2005. – 380 с.
11. Обеспечение показателей качества катанки для металлокорда / В.В. Парусов, И.В. Деревянченко, А.Б. Сычков, А.М. Нестеренко, Э.В. Парусов, М.А. Жигарев // *Металлург*. 2005. № 11. С. 45–51.
12. Малиночка Я.Н., Ковальчук Г.З. Сульфиды в сталях и чугунах. М.: Металлургия, 1988. 248 с.

13. Малиночка Я.Н., Титова Т.М., Курасова А.Н. Состав и структура глобулярных сульфидов в сталях с РЗМ // Сталь. 1986. № 4. С. 78–83.
14. Лякишев Н.П., Плинер Ю.Л., Лаппо С.И. Борсодержащие стали и сплавы. М.: Металлургия, 1986. 192 с.
15. Белалов Х.Н. Формирование свойств канатной проволоки // Стальные канаты. Одесса: Астропринт, 2001. С. 105–116.

УДК 621.74, 621.002.68

**А.Н. Грачев, В.А. Коровин, Т.Д. Курилина, И.О. Леушин**  
Нижегородский государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексеева

### **ВАРИАНТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШЛАМОВ ЗАКАЛОЧНЫХ БАКОВ ТЕРМИЧЕСКИХ ЦЕХОВ ОАО «ГАЗ» В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ\*)**

В составе техногенных отходов заготовительных производств предприятий автомобилестроения (например, термического, кузнечного, литейного) часто содержатся полезные компоненты, извлечение и использование которых может существенно сократить расход свежих материалов и уменьшить материалоемкость литейных технологий. Захоронение и утилизация отходов в большинстве случаев являются весьма затратными, а современные технологии их возврата в производственный цикл требуют значительных материальных вложений и не всегда экономически целесообразны.

В то же время в литейно-металлургических производствах пристальное внимание уделяется вопросам экологии и ресурсозатратности технологий, и одним из вариантов их одновременного решения выступает использование техногенных отходов собственного или смежных производств.

Так, например, широкую известность приобрел промышленный опыт таких технологий рециклинга [1], как использование железосодержащих шламов сталеплавильного производства в составе шихты, применение отходов гальванического производства в качестве огнеупорного наполнителя в составе противопопригарных красок и др.

Повышение экологической безопасности промышленного производства, внедрение малоотходных технологий и схем рециклинга промышленных отходов в совокупности с расширением сырьевой базы для литейного и металлургического производств на основе поиска новых, недорогих, доступных и функциональных материалов – одно из приоритетных направлений научно-исследовательской работы кафедры «Литейно-металлургические процессы и сплавы» (ЛМПС) ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ).

В рамках договора с группой компаний «ГАЗ», выполняемого кафедрой ЛМПС совместно с сотрудниками автомобильного института НГТУ, решаются вопросы вторичного использования некоторых отходов предприятий группы ГАЗ в литейно-металлургических технологиях (ЛМТ). Одним из таких отходов является шлам закалочных баков термических цехов, который образуется при проведении термической обработки стальных заготовок, в частности закалки в масле или воде.

Масло обеспечивает значительно меньшую скорость охлаждения изделий по сравнению с водой, что резко уменьшает закалочные напряжения и опасность возникновения трещин и позволяет закаливать в нем крупные заготовки сложной формы без возникновения трещин. Однако со временем масло изменяет свои физические свойства, в частности повышается вязкость, что способствует снижению его охлаждающей (закаливающей) способности. При этом оно насыщается продуктами разложения при контакте с нагретой стальной заготовкой и посторонними включениями (большой частью термической окалиной), что в конечном итоге делает его непригодным для использования в качестве охлаждающей среды.

Это происходит, если фиксируется отклонение по одной или нескольким характеристикам [2]:

- 1) повышение вязкости более чем на 40% по сравнению с исходной;
- 2) содержание смол более 10%;
- 3) содержание механических примесей более 0,15%;
- 4) кислотность более 2–2,5 мг КОН/г.

Отработанное закалочное масло в совокупности с его химическими, механическими примесями и включениями квалифицируется согласно Федеральному классификационному каталогу отхо-

дов как шлам закалочных баков (код по каталогу 5470000000000) и относится к 3-му классу опасности – умеренно опасный отход.

Этот материал представляет собой механическую смесь условно твердой и жидкой составляющих: собственно шлама, или осадка закалочных баков, и отработанной загрязненной охлаждающей среды, или отработанного масла.

До последнего времени для предприятий группы «ГАЗ» представляла интерес только регенерация отработанного масла, решающая задачи восстановления его охлаждающей способности и очистки от мелкодисперсных взвесей, смолы, коллоиднорастворенных частиц и других продуктов химических превращений [3].

Однако с учетом того, что годовое образование условно твердой составляющей шлама закалочных баков составляет около 100 т (среднее количество по данным статистических отчетов за 2009 – 2011 гг.), вопрос ее рециклинга стал актуальным.

Именно он встал во главу угла данной работы.

Проведенный компонентный анализ химического состава условно твердой составляющей шлама закалочных баков (далее – шлам) показал результаты, представленные в табл. 1.

Таблица 1  
Компонентный состав шлама (по данным ОАО «ГАЗ»)

Наименование компонента	Содержание, масс. %
Железо металлическое, оксид	68,5
Натрия гидроксид	15,67
Нефтепродукты	9,76
Вода	5,35
Гидроксид никеля (в пересчете на $Ni^{2+}$ )	0,11
Гидроксид меди	0,1
Гидроксид марганца (в пересчете на $Mn^{2+}$ )	0,074
Гидроксид цинка (в пересчете на $Zn^{2+}$ )	0,053
Гидроксид хрома (в пересчете на $Cr^{3+}$ )	0,02

В условиях лаборатории формовочных материалов кафедры ЛМПС проводились экспериментальные исследования по стандартным методикам некоторых свойств шлама, таких как влажность, водородный показатель, насыпная плотность, изменение массы при прокаливании, гигроскопичность.

В итоге было выявлено, что шлам представляет собой эмульсию отработанного масла с включениями гидроксидов и окалины с характерным запахом гари. Его свойства приведены в табл. 2.



Таблица 2

## Свойства шлама

Влажность, %	2,76
Водородный показатель	5
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1053
Изменение массы при прокаливании, %	84,33
Гигроскопичность, %.	4

Полученные результаты лабораторных исследований дают основания предположить, что данный материал может быть использован в ЛМТ в качестве:

- технологической добавки в стержневые смеси на синтетических смолах горячего и холодного твердения;
- функционального компонента экзотермических смесей;
- технологической добавки в «классические» формовочные смеси на неводных (масляных) связующих;
- технологической присадки для изменения модуля жидкого стекла;
- подшихтовочного материала при проведении плавки чугуна.

Возможность применения шламов закалочных баков в качестве технологической добавки к смесям на синтетических смолах горячего и холодного твердения обусловлена тем, что в составах смесей на синтетических смолах, как правило, имеются оксид железа и масла [4]. В связи с этим становится очевидным, что использование отхода закалочных баков в качестве источника масла и оксида железа, как минимум, позволит снизить себестоимость смесей, а в дополнение к этому при определенных условиях и повысить их технологичность.

Так, например, в современных технологиях изготовления стержней из ХТС, в частности Cold-box-amin-процессе, для предупреждения ситовидной пористости и ужимин в отливках в смесь вводят 0,1–0,7% оксида железа, как правило, в виде железозоксидного пигмента. Эта же добавка препятствует выделению блестящего углерода при разложении полиизоцианата, ведущему к складчатости на поверхности чугунных отливок.

Наличие масел в составе шлама закалочных баков вполне может способствовать повышению выбиваемости стержней для отливок из алюминиевых сплавов, а гидроксид натрия в составе шлама предположительно может служить регулятором значения водородного показателя pH смесей.

Эти вопросы в настоящее время являются предметом исследований.

Оксид железа и нефтепродукты в составе шлама могут играть роли важных функциональных компонентов экзотермических смесей.

Так, оксид железа в составах таких смесей выполняет функцию окислителя, который, вступая в реакцию с окисляемым компонентом, обладающим относительно большим сродством к кислороду (например, порошком алюминия), обеспечивает получение значительного теплового эффекта.

Нефтепродукты могут служить связующими смесей, обеспечивая требуемый уровень эксплуатационных характеристик экзотермических вставок в области высоких температур при контакте с жидкими металлическими расплавами.

Возможность применения шламов закалочных баков в качестве добавки для улучшения технологичности формовочных смесей на неводных связующих прежде всего связано с присутствием в их составе остатков закалочного масла в комбинации с железной окалиной.

Гидрофобность шлама закалочных баков препятствует его использованию для смесей с водными связующими. Однако в практике отечественного литейного производства по-прежнему широкое применение находят смеси на масляных связующих. Эти связующие обеспечивают высокую прочность смесей после тепловой обработки при температуре 200–220°C в течение 1,0–1,5 ч. Существенного снижения времени отверждения и температуры обработки, по данным [5, 6], можно добиться введением в смесь активных добавок, создающих окислительно-восстановительную систему, способствующую быстрому окислению мономеров масла, а следовательно, более интенсивному образованию радикалов и протеканию полимеризации. В качестве таковой, по мнению авторов, может выступать шлам закалочных баков. При этом наличие в его составе оксида железа будет способствовать повышению теплоаккумулирующей способности смеси, а углеродсодержащих выгорающих компоненты – нефтепродуктов – соответственно уменьшению вероятности пригара на отливках из железоуглеродистых сплавов.

В последнее время широкое распространение получает применение безводных смесей на органобентонитовых связующих для литья из алюминиевых, медных и магниевых сплавов. Органобентонит представляет собой обработанный четвертичной аммониевой солью бентонит и является структурообразователем масляных сред. Он способствует обеспечению высокой прочности, обрабатываемости смеси, ее относительно низкой газотворности,

возможности использования мелкозернистых песков и получению качественных отливок без засоров, раковин и пригара.

Применение шлама закалочных баков в качестве технологической добавки к таким смесям, по мнению авторов, позволит не только повысить коллоидную стабильность смеси, содержащей остаточное нефтяное масло, но и активировать бентонит за счет присутствия гидроксида натрия в составе шлама.

Еще одним вариантом рециклинга шлама закалочных баков теоретически может выступать его использование для изменения модуля жидкого стекла. Такое предположение можно сделать, исходя из наличия в составе отхода гидроксида натрия. При этом известно, что едкий натр используется на производстве в качестве регулятора силикатного модуля жидкого стекла.

И, наконец, возможность использования шламов закалочных баков как подшихтовочного материала при проведении ваграночной плавки чугуна связана с наличием в их составе оксида железа и, по мнению авторов, не требует дополнительных доказательств.

К числу важных условий использования шламов закалочных баков в ЛМТ по всем перечисленным вариантам относится обязательное удаление избытка влаги и корректировка состава физико-химическими методами при необходимости. В итоге материал приобретает такие свойства, как:

- способность измельчаться;
- способность просеиваться через сита с технологически необходимым размером ячеек;
- свойство сохранять свои размеры во время просеивания;
- свойство сохранять малую гигроскопичность после сушки.

В настоящее время проводится комплекс работ по промышленному опробованию вариантов применения материала в ЛМТ на нескольких предприятиях региона.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проекта по договору № 02.G25.31.0006 от 12.02.2013 г. (постановление Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 года №218).*

### Литература

1. Рециклинг металлургических шламов в литейно-металлургическом комплексе / В.А. Коровин, И.О. Леушин, С.В. Беляев, В.К. Седунов, П.А. Слузов // Заготовительные производства в машиностроении. 2013. №4. С. 8–9.

2. Райцес В.Б. Термическая обработка в помощь рабочему-термисту. М.: Машиностроение, 1980. 192 с.
3. Петраш Л.В. Закалочные среды. М.; Л.: Машгиз, 1959. 112 с.
4. Технология литейного производства: формовочные и стержневые смеси: учеб. пособие для вузов / С.С. Жуковский, А.Н. Болдин, А.И. Яковлев, А.Н. Поддубный, В.Л. Крохотин. Брянск: Изд-во БГТУ, 2002. 470 с.
5. Пат. 2391176 РФ, МПК В 22 С1/02. Формовочная смесь / Д.Е. Сироткин, М.А. Жумлякова, А.П. Козловцев, И.Г. Ларионова, А.В. Шейкин; ОАО «Средневожский научно-исследовательский институт по нефтепереработке». № 2008123693/02; заявл. 10.06.2008; опубл. 10.06.2010.
6. Пат. 2456115 РФ, МПК В 22 С1/16. Формовочная смесь / В.М. Грузман, Е.С. Шуткин; ФГБОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина». № 2011113868/02; заявл. 08.04.2011; опубл. 20.07.2012.

УДК 669.021

**Е.А. Чернышов, А.Д. Романов, И.И. Рожков**

Нижегородский государственный технический университет

### **СОЗДАНИЕ КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕРМИЧЕСКОЙ УСТАЛОСТИ ЛИТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА**

В НГТУ при разработке паротурбинной установки замкнутого цикла малой мощности одной из материаловедческих проблем стал подбор материалов для корпуса, лопаток рабочего колеса турбины, парогенератора, так как существенными ограничениями являются линейные размеры, вес, время работы, коррозионный и механический износ, неравномерность прогрева парогенератора, причем прогрев зон парогенератора не постоянен во времени. В СССР/России ранее были успешно разработаны паротурбинные установки торпед и подводных лодок, однако турбинные установки торпед являются одноразовыми и время работы крайне ограничено.

Цикл непрерывной работы установки составляет от 400 до 600 ч, при этом теоретически закладывается, что мощность изме-

няется в пределах 10–20%. Однако усталостную прочность предполагается заложить с запасом, так как, например, при внедрении самолета F–15 и отработки новых тактических приемов оказалось, что количество смен режимов работы двигателей в диапазоне «min-max» за полет в несколько раз превосходит используемое на двигателях предыдущего поколения.

Трудоемкость изготовления лопаток рабочего колеса в большинстве конструкций турбин составляет 30–40% от общей трудоемкости двигателя. Эта особенность, наряду с условиями работы лопатки в двигателе, требует использования в производстве прогрессивных методов получения заготовок, современных технологий обработки, особенно на финишных операциях, механизации и автоматизации технологических процессов. Согласно [1] усталостные разрушения лопаток турбин составляют до 33%, разрушение от малоциклового усталости – около 9%, разрушения от сочетания малоциклового усталости и вибрационных напряжений – около 42%, разрушения, связанные с истощением длительной прочности – 16%.

Влияние на усталостную прочность лопаток определяется совершенством процесса их изготовления. Особенно сложен и нестабилен процесс литья. Часто он сопровождается металлургическими дефектами, виды и количество которых определяются составом шихты, огнеупоров для формы и стержня, материалов модельной массы, стабильностью температуры заливки металла, глубиной вакуума, условиями кристаллизации и др. [1, 2]. Мелкозернистая структура на поверхности лопатки повышает сопротивление усталости, это достигается модифицированием структуры поверхности путем ввода в первый слой литейной формы алюмината кобальта, частицы которого играют роль центров кристаллизации (модификаторы) при кристаллизации сплава.

Сопротивление усталости у литых лопаток также определяется состоянием поверхностного слоя (вид обработки: пескоструйная очистка литейной поверхности, обработка абразивным и полировка войлочным кругами).

Основными факторами, влияющими на качество поверхностного слоя, являются:

- остаточные напряжения;
- микрорельеф поверхности;
- структура поверхностного слоя.

Наиболее насыщены дефектами литейная и полированная поверхности. Наименьшие плотности и размеры дефектов харак-

терны для поверхности, подвергнутой виброшлифованию с последующей ультразвуковой промывкой, уменьшающей содержание на поверхности нежелательных химических примесей и загрязнений.

Для защиты от коррозии элементов турбин используются различные покрытия из никеля, хрома, титана, цинка, меди, а также алитирование и др. Также для защиты лопаток от коррозии применяют покрытие типа ЭП586 на основе эпоксидных смол, гальванические покрытия типа Никель-Кадмий и др. Общим недостатком металлических покрытий, наносимых обычно гальваническим способом, является некоторое снижение предела выносливости детали. Для уменьшения отрицательного влияния разработаны технологические операции, к ним относится термомодифицирование деталей с никель-кадмиевым покрытием.

Для повышения коррозионно-эрозионной стойкости стальных лопаток, изготовленных из сталей типа 13X11H2B22MMФ-III, 14X12H2M2ФАБ-III, применяется низкотемпературное алитирование силикатно-фосфатной пленкой. При этом снижается сопротивление усталости лопаток из деформируемых сплавов на 5–35% (в зависимости от рабочей температуры и размера лопатки), что объясняется низкой пластичностью алюминидов никеля. Влияние на усталость рабочих лопаток остаточных напряжений (на примере лопаток из титановых сплавов BT3-1 и BT8) показало, что при одинаковой шероховатости поверхности вклад остаточных напряжений в повышение предела выносливости оказывается выше, чем вклад шероховатости (напряжения сжатия более 400 МПа могут, как и на стальных лопатках, компенсировать снижение шероховатости поверхности на 1–2 класса) [2]. Остаточные напряжения оказывают на металл такое же механическое воздействие, как и напряжения, вызванные рабочей нагрузкой. Сжимающие макронапряжения повышают усталостную прочность конструкционных сталей и сплавов, работающих при нормальной температуре в условиях циклического нагружения, а растягивающие – снижают ее.

Зарождение усталостной трещины обычно начинается с поверхности из-за того, что здесь возникают наибольшие циклические напряжения при изгибе, кручении, концентрации напряжений и различных дефектов поверхности. Поэтому качество обработки поверхности деталей оказывает значительное влияние на сопротивление усталости, особенно для высокопрочных сталей. Причем в структуре поверхностного слоя первостепенная важность – это применяемая технология изготовления, вплоть до траектории движения режущего инструмента. Возникновение остаточных напря-

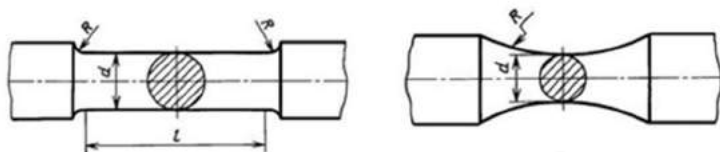
жений связано с пластической деформацией при воздействии режущего инструмента и нагреванием поверхностных слоев выделяющейся теплотой резания. При силовом воздействии инструмента возникает пластическая деформация растяжения, и после снятия этого воздействия в поверхностном слое образуются остаточные напряжения сжатия. На поверхность элементов турбины наносятся специальные многокомпонентные покрытия, по специальной технологии (температурный режим, выдержка и т.п.).

В настоящее время создано достаточно много прикладных программ по оптимизации процессов равноосной и направленной кристаллизации отливок и расчету температурно-силовых условий работы турбинных лопаток, однако они не могут заменить результаты практических исследований состояния материала лопаток после различных этапов технологического цикла производства, а также стендовых испытаний и наработки на двигателях с максимальным ресурсом. При прогнозировании сроков службы для заданных условий нагружения необходимо располагать соответствующими функциями распределения пределов выносливости. Однако испытания большого количества таких деталей, как валы и диски сопряжено с трудностями и высокой стоимостью. В большинстве случаев удается провести испытания лабораторных образцов из материалов деталей в условиях, лишь приближающихся к эксплуатационным.

Поэтому предполагается создать испытательный стенд для исследования именно нашего материала с покрытием по нашей технологии и в близких к нашим условиям.

Наиболее полное представление о несущей способности деталей можно получить с помощью семейств кривых усталости, отвечающих требуемым вероятностям разрушения.

Предполагается использовать стандартные образцы (см. рисунок) и вариант установки исследования циклической усталости, разработанные Мыльниковым В.В. [4].



Типы образцов

Причем планируется создать комплекс по исследованию деталей парогенератора и турбины, максимально приближенный к рабочим условиям, включающий в себя установку исследования усталостной прочности парогенератора, на базе существующего оборудования с обеспечением неравномерного прогрева зон парогенератора, систему подачи рабочего тепла (пар) на турбину в условиях меняющихся параметров, включая исследование элементов циркуляционного питательного насоса. Для исследования используются стандартные образцы, испытание которых проводится в рабочих условиях, с созданием атмосферы за счет подачи пара на испытуемый образец, включая работу с переменной нагрузкой (ГОСТ 9651-84 и 28840-90).

В ходе научно-исследовательских работ планируется привлечь магистров и аспирантов для повышения качества обучения [3].

### Литература

1. Петухов А.Н. Сопротивление усталости деталей ГТД. М.: Машиностроение, 1993. 240 с.
2. Чернышов Е.А., Евстигнеев А.И., Евлампиев А.А. Литейные дефекты. Причины образования. Способы предупреждения и исправления. М., 2008.
3. Чернышов Е.А., Евлампиев А.А. Об актуальности подготовки кадров для литейного производства // Современные наукоемкие технологии. 2010. № 10. С. 169–170.
4. Прогнозирование прочности и долговечности материалов деталей машин и конструкций с учетом частоты циклического нагружения / В.В. Мыльников, Д.И. Шетулов, А.И. Пронин, Е.А. Чернышов // Изв. вузов. Черная металлургия. 2012. № 9. С. 32–37.



## Раздел 4

## СПЕЦИАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ЛИТЬЯ

УДК 621.74

**В.В. Смирнов, А.А. Ганеев**Уфимский государственный авиационный  
технический университет**Е.Ф. Шайхутдинова**Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.Н. Туполева– КАИ**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОСЛОЙНОГО СИНТЕЗА  
ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ  
ИЗ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ТИТАНА**

Важным ресурсом обеспечения конкурентоспособности авиационной техники на российском и международном рынке является повышение эксплуатационных характеристик турбореактивных двигателей. Данная проблема решается за счет совершенствования конструкции двигателя и использования в его узлах современных, более легких материалов, превосходящих существующие материалы по термомеханическим свойствам.

Основной проблемой освоения выпуска деталей из современных интерметаллидных сплавов специального назначения являются их технологические свойства: низкая пластичность/вязкость разрушения в широком интервале температур и недостаточная механообрабатываемость. Кроме того, низкая плотность таких сплавов и большое сродство к кислороду вынуждают использовать специальные способы литья (в частности, центробежный способ), который, по существу, и является единственным применимым. Несмотря на это, получаемые отливки содержат большой процент брака по таким видам, как пористость, трещинообразность.

Решением проблемы получения качественных изделий из специальных интерметаллидных сплавов, а также возможность изготовления деталей в соответствии с новыми подходами к конструированию узлов и деталей силовых установок, сокращение времени проектных работ и изготовление опытных образцов изде-

лий в кратчайшие сроки может быть применение в технологическом процессе так называемых технологий послойного синтеза.

Технология послойного синтеза или аддитивные технологии (AF – Additive Manufacturing) [1] позволяют на порядок ускорить НИОКР и решение задач подготовки производства, а в ряде случаев являются единственно применимыми для решения конструкторских и технологических задач.

Одной из перспективных технологий послойного синтеза является лазерное сплавление. Схема процесса лазерного спекания представлена на рис. 1.

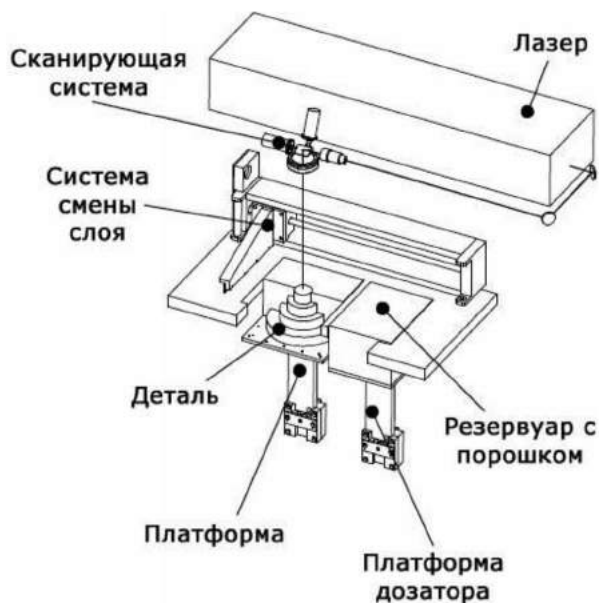


Рис. 1. Схема процесса лазерного спекания

Любой трехмерный объект может быть построен эффективно и быстро без какой-либо оснастки и сложной подготовки управляющих программ [1]. Необходимо только наличие трехмерного файла CAD. Во время построения трехмерная модель разбивается на слои. Затем технология лазерного сплавления воспроизводит требуемую геометрию деталей по слоям. С помощью энергии лазера происходит построение твердотельных металлических из по-

рошковых материалов. Технология лазерного сплавления позволяет производить несколько разных объектов за один запуск.

Изготовление деталей с помощью лазерного сплавления порошков имеет ряд преимуществ для авиационной промышленности:

- отсутствует необходимость в оснастке;
- повышается рентабельность производства малой серии и эксклюзивных вариантов;
- увеличивается продолжительность жизненного цикла деталей;
- появляется возможность воспроизвести деталь в любой момент;
- отсутствуют ограничения по сложности деталей;
- снижается вес детали за счет уменьшения толщины стенок, элементов, создания сотовых и иных структур;
- возможность создания комплексных, интегрированных деталей;
- отсутствие в деталях пористости, характерной для литейных технологий;
- отсутствие в деталях литейных напряжений.

Примеры функциональных деталей, изготовленных с помощью технологии селективного лазерного сплавления, представлены на рис. 2 и 3.



Задача: Завихритель

Материал: In718

Время подготовки управляющей программы: 30 мин

Время изготовления: 3 ч

Размер:  $\varnothing 45 \times 25$  мм

Расход материала: 20 гр

Время постобработки: 1 ч

Рис. 2. Пример функциональных деталей, изготовленных с помощью технологии селективного лазерного сплавления

В настоящее время аддитивные технологии переходят из разряда опытных и единичных работ в разряд учебных и промышленных участков. Так, в апреле 2013 года производитель реактивных двигателей – компания Pratt & Whitney совместно с Университетом Коннектикута (США) объявила об открытии в Технологиче-

ском Парке университета одного из наиболее продвинутых центров аддитивного производства в стране [2].

Pratt & Whitney является подразделением Корпорации United Technologies, расположенной в Хартфорде. Представители компании сообщили, что с их стороны в проект лаборатории уже были инвестированы более 4,5 млн долл., а в течение следующих пяти лет планируется потратить еще 3,5 млн [2].



Задача: Получение образца лопатки

Материал: Ti64

Время подготовки управляющей программы: 1 ч

Время изготовления: 27 ч 44 мин

Размер: 142 x 79 x 86 мм

Расход материала: 530 гр

Время постобработки: 3 ч

Рис. 3. Пример функциональных деталей, изготовленных с помощью технологии селективного лазерного сплавления

Другим примером внедрения аддитивных технологий в аэрокосмическую промышленность является опыт авиационного отделения GE, одного из крупнейшего в мире поставщика реактивных двигателей, который использует технологии 3D печати например, для производства топливных форсунок в реактивных двигателях. Впервые 3D печать используется для массового производства различных деталей, необходимых для тысячи реактивных двигателей (рис. 4).

Следует отметить, что принципы организации промышленного участка аддитивных технологий достаточно сильно отличается

от исследовательских и лабораторных участков. Связано это, прежде всего, с необходимостью одновременной работы нескольких десятков установок, наличия собственного атомизера – устройства получения тонкодисперсных порошков сплавов различного состава, комплекса лабораторий для контроля свойств как порошков, так и получаемых деталей и т.п.



Рис. 4. Детали авиационного двигателя, полученные промышленным методом с помощью селективного лазерного сплавления

Несмотря на техническую сложность и достаточно ощутимые первоначальные затраты, аддитивные технологии изготовления деталей авиационных двигателей получают все большее распространение. Применение данных технологий позволяет решить множество проблем, связанных как с быстрым освоением перспективных изделий, так и применением для изготовления деталей сплавов, особенно из сплавов, обладающих сравнительно низкими литейными свойствами.

### Литература

1. Казмирчук К., Довбыш В. Аддитивные технологии в российской промышленности [Электронный ресурс]. URL: <http://konstruktor.net/podrobnее-det/items/additivnyie-texnologii-v-rossijskoj-promyshlennosti.html> (дата обращения: 01.10.2013).

2. Компания-производитель реактивных двигателей Pratt инвестирует 8 миллионов долларов в цифровую лабораторию Университета Коннектикута [Электронный ресурс]. URL: <http://3dbay.ru/2013/04/08/компания-производитель-реактивных-д/> (дата обращения: 01.10.2013).

УДК 620.22-419.8:658.567:678

**О.В. Ершова, Л.Г. Коляда, Ю.С. Крапивко**  
Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

### **ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ТЕХНОГЕННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ОТХОДОВ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА**

В настоящее время на Южном Урале накоплено свыше 3 млрд т отходов производства предприятий добывающей, металлургической, энергетической, машиностроительной отраслей. Ежегодно вновь образуется 90 млн т отходов, из них перерабатывается не более 50%. Министерством промышленности региона разработана программа, рассчитанная на 2012–2015 годы, которая предусматривает создание благоприятных условий для привлечения отечественных и зарубежных инвестиций в сферу переработки отходов промышленности и энергетики, стимулирование создания предприятий по переработке шлаков. В случае полной реализации программы объемы шлакоотвалов на территории Челябинской области уменьшатся, получит развитие минерально-сырьевая база отраслей хозяйственной деятельности, будут созданы конкурентоспособные производства на основе переработки отходов [1].

Главными поставщиками техногенного сырья являются горнодобывающая и металлургическая промышленности, а также теплоэнергетика. Около 25% территории Уральского региона оцениваются как кризисные в связи с загрязнением, связанным с хранением техногенных отходов [1]. Уровень утилизации отходов теплоэнергетики в России составляет около 4–5%, в то время как в развитых странах – 50–90%.

Одним из перспективных направлений переработки минеральных техногенных отходов является создание композиционных материалов на основе вторичных полимеров. В настоящее время проблема переработки отходов полимерных материалов обретает актуальное значение не только с позиций охраны окружающей среды, но и с экономической точки зрения.

Одним из крупнотоннажных полимеров является ПВХ – поливинилхлорид (винипласт), который обладает достаточно высокой механической прочностью, высокими водо- и химостойкостью, хорошими диэлектрическими характеристиками. К числу недостатков относятся низкая ударная прочность и невысокая температура эксплуатации (не выше 70–80°C).

Широкое применение винипласта – изготовление оконных и дверных профилей, которые после определенного срока эксплуатации демонтируются и требуют утилизации.

В связи с этим цель настоящей работы – разработка композиционного материала на основе техногенных минеральных и полимерных отходов.

При реализации поставленной цели решались следующие задачи:

- провести исследования исходных компонентов композита: золы уноса и золошлака Южноуральской ГРЭС, доменного шлака ММК, вторичного ПВХ;
- получить образцы композита;
- исследовать свойства композита.

Химический состав золы и золошлака Южноуральской ГРЭС, а также доменного шлака ММК был определен рентгеноспектральным методом на установке СРМ-25. Результаты анализа представлены в табл. 1.

Зола уноса и золошлак Южноуральской ГРЭС имеют сходный состав: 85% составляют оксиды кремния, алюминия и железа. Доменный шлак в основном состоит из оксидов кальция, кремния и алюминия.

Отходы ПВХ-конструкций представляют собой полимер сложного состава, так как в ПВХ-композицию входят термостабилизаторы, светостабилизаторы, пластификаторы, антипирены, наполнители и др., что оказывает влияние на температурный режим переработки ПВХ.

Таблица 1

## Химический состав наполнителей

Вещество	Содержание вещества, %		
	Зола уноса	Золошлак	Шлак
C	1,64	3,14	-
S	0,20	0,15	0,70
SiO <sub>2</sub>	56,60	52,20	36,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25,50	23,30	13,00
FeO	6,90	10,40	0,25
CaO	2,50	4,40	38,10
MgO	1,82	1,96	7,70
K <sub>2</sub> O	2,34	2,20	1,26
Na <sub>2</sub> O	0,65	0,57	0,92
TiO <sub>2</sub>	1,17	1,06	1,27
MnO	0,37	0,23	0,40
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,31	0,39	-

Методом дифференциальной сканирующей калориметрии и термогравиметрического анализа был определен состав вторичного ПВХ (рис. 1). По количеству пиков на ТГ-кривой можно судить о количестве компонентов в пластике. На полученной ТГ-кривой фиксируется семь пиков, т.е. вторичный полимер изначально представляет собой сложную систему, состоящую из различных компонентов. Первый пик на ТГ-кривой при температуре около 265°C соответствует деструкции легколетучих добавок в полимере. Максимальный пик на ТГ-кривой наблюдается при температуре 295°C и соответствует деструкции ПВХ, содержание которого составляет 46,14%. Остаточная масса образца по достижении температуры 600°C соответствует содержанию в ПВХ минеральных добавок и составляет 25,59% (предположительно – оксид титана TiO<sub>2</sub>, используемый в качестве красителя). Первый пик на ДСК-кривой при температуре 90°C показывает изменение физического состояния полимера (температура стеклования) и не сопровождается изменением массы полимера.

На основе анализа полученных кривых установлено, что температура переработки ПВХ-конструкции лежит в диапазоне температур от 90 до 265°C.

Одним из направлений вторичной переработки ПВХ является получение вспененных пластиков с помощью специальных химических добавок – порофоров, которые при нагревании разлага-



ются с выделением газа, вспенивающим полимер. Для поливинилхлорида и других полиолефинов используют вспенивающий агент ЧХЗ-21 (диамид азодикарбоновой кислоты). Использование химических вспенивателей позволяет:

- уменьшить плотность и вес изделий;
- увеличить тепло- и звукоизолирующие характеристики полимеров;
- снизить стоимость изделия.

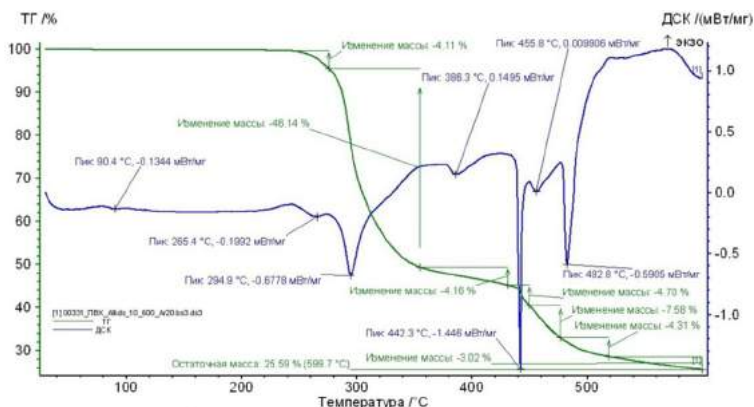


Рис.1. Кривые ДСК/ТГ ПВХ-конструкции

При создании композита на основе вторичного ПВХ и техногенных отходов важное значение имеет фракционный состав последних. Результаты определения фракционного состава золы и шлака представлены в табл. 2.

Таблица 2

Фракционный состав наполнителя

Фракция, мм	Содержание фракции, %		
	Зола уноса	Золошлак	Шлак ММК
5	-	9,2	-
3	-	6,1	2,8
2	-	6,4	10,0
1	1,2	7,4	25,2
0,5	2,2	9,6	28,4
0,25	4,1	25,4	21,5
остаток	92,5	35,9	12,1

Наибольшей однородностью обладает зола уноса: фракция менее 0,25 мм составляет более 90%. Частицы золошлака и доменного шлака имеют более крупные размеры.

Для получения композита использовалась лабораторная установка, состоящая из нагревательной печи, представляющая вертикальную цилиндрическую шахту, обогреваемую нагревательной спиралью, и специально изготовленной лабораторной пресс-формы, вмещающей 10–30 г исследуемого материала (рис. 2).



Рис 2. Лабораторная пресс-форма для производства композита

Оптимальные условия получения образцов композиционного материала выявлены в результате реализации полного многофакторного эксперимента [2]. Модель отражает зависимость плотности полимера от всех выбранных факторов (с учетом коэффициентов), а также от сочетания двух факторов (совместного влияния): концентрации и давления.

Полученные образцы композита были подвергнуты различным испытаниям, в ходе которых наиболее оптимальным был признан композиционный материал с золой уноса в качестве наполнителя. Оптимальный состав композита [3]:

- 15% – наполнитель (зола уноса);
- 3% – вспениватель (ЧХЗ-21);
- 72% – вторичный ПВХ.

Данный образец наиболее безопасен, обладает лучшими физико-механическими свойствами, приемлемой химической стойкостью и водопоглощением. [3]. Результаты исследований композиционного материала представлены в табл. 3.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о пригодности полученного композита на основе полимерных и ми-

неральных отходов для использования в строительной, рекламной, упаковочной отраслях.

Таблица 3

Полученные характеристики композиционного материала

Параметр	Полученное значение
Радиационная безопасность	Соответствует СанПиН 2.6.1.2523-09
Химическая безопасность	Обеспечивается устойчивость рН среды
Коэффициент среднего теплового линейного расширения в интервале 60°C, °C <sup>-1</sup> (мм/м)	3,81 · 10 <sup>-5</sup> (1,8)
Сжимаемость	Отсутствует при давлении менее 45 кг/см <sup>2</sup>
Усилие разрыва резьбового соединения, Н	890
Водопоглощение, %	3,8
Изменение массы в агрессивных средах, % не более	2,5

### Литература

1. Солодкий Н.Ф., Шамриков А.С., Погребенков В.М. Минерально-сырьевая база Урала для керамической, огнеупорной и стекольной промышленности: справ. пособие. Томск: ТПУ, 2009. 332 с.
2. Ершова О.В., Коляда Л.Г., Крапивко Ю.С. Способы получения композиционного материала на основе техногенных полимерных и минеральных отходов // Химия. Технология. Качество. Состояние и перспективы развития: сборник материалов международной заочной научно-технической конференции (22 мая 2012 года) / под ред. Н.Л. Медяник. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С.124–129.
3. Ершова О.В., Коляда Л.Г. Крапивко Ю.С. Исследование свойств композиционного материала на основе техногенных минеральных и полимерных отходов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й межрегион. науч.-техн. конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. Т.1. С.195–199.

---

---

## Раздел 5

### САПР В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

УДК 621.074

**И.О. Леушин, А.А. Большаков**

Нижегородский государственный технический  
университет им. Р.Е. Алексеева

#### **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ RP-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЛИТЕЙНОЙ ОСНАСТКИ**

Литейное производство представляет собой процесс получения отливок путем заливки расплавленного металла в литейные формы, в которых металл затвердевает. Наиболее распространенным способом получения отливок является литье в песчаные формы.

Технологический процесс литья в песчаные формы состоит из изготовления модельных комплектов, приготовления формовочных и стержневых смесей, изготовления форм и стержней, сборки, получения расплава, заливки, выбивки, обрубки [1].

Проблемой, стоящей в самом начале изготовления отливок, является получение качественной модельной оснастки, форм и стержней.

На базовом предприятии в качестве основного материала литейной оснастки используется нетехнологичный материал – древесина, характеризующийся низкими механическими свойствами, склонностью к набуханию и короблению. Древесина впитывает влагу из стержневой смеси, что ведет к ее разбуханию и растрескиванию и, как следствие, быстрому выходу оснастки из рабочего состояния. Исходя из этого, эксплуатационный ресурс такой оснастки составляет всего 200–300 съёмов.

В ходе формовки поверхностный слой материала стержневого ящика или модели, контактирующий с зёрнами огнеупорного наполнителя формовочной или стержневой смеси, подвергается как постепенному абразивному износу, так и ударным механическим нагрузкам, а также может вступать в химическое взаимодей-

ствие с активными компонентами смеси или технологического покрытия рабочей полости и атмосферной влагой.

Производство деревянной модельной оснастки требует серьезных временных и трудовых затрат, привлечения к этой работе квалифицированных конструкторов, технологов и модельщиков.

Высокая стоимость ремонта и изготовления новых стержневых ящиков требует поиска новых способов и технологий изготовления литейной оснастки.

Традиционно решение указанной проблемы тесно связывают с серийностью выпуска литья, поскольку именно она предопределяет экономическую целесообразность выбора того или иного материала и технологии для изготовления оснастки, которые могли бы обеспечить ее достаточные стойкость к износу и сохранение геометрии без риска получения брака отливки [2].

В массовом и крупносерийном производстве литья модельный комплект, как правило, изготавливается из металлических сплавов (стали, чугуна, алюминиевых сплавов). Это обуславливается тем, что оснастка, изготовленная из металла, более износостойкая, не деформируется под воздействием формовочной или стержневой смеси, способна выдержать большое число съёмов. Однако ее недостатками являются высокая цена и существенная трудоемкость изготовления. Древесина, как материал моделей, широко применяется в мелкосерийном и индивидуальном производстве отливок. Она легко поддается обработке, обладает низкой стоимостью, но быстро изнашивается при контакте с формовочной и стержневой смесями и весьма чувствительна к атмосферной влаге.

В этой ситуации безусловного внимания заслуживают альтернативные современные материалы, например пластмассы, полимеры, композиты и т.п.

Пластмасса как материал технологической литейной оснастки известна уже достаточно давно. Литейная пластиковая оснастка занимает промежуточное положение между металлической и деревянной, выигрывая у них в соотношении «скорость изготовления/стоимость». Количество съёмов для пластиковой оснастки имеет достаточно широкий интервал и может варьироваться от 200 до 30000. Благодаря применению специальных добавок при изготовлении полимерных материалов, литейная оснастка из пластика значительно повышает свою стойкость к ударной нагрузке и абразивному износу. Однако использование пластика в качестве

материала для литейной оснастки ограничено в первую очередь ценой на материал. Кроме того, для изготовления пластмассовой оснастки необходимо специальное оборудование [3].

В настоящее время многие ограничения на пути широкого применения в производстве литейной оснастки из пластмасс уходят на второй план, особенно, если речь идет о выпуске мелких серий отливок ответственного назначения со сложной геометрией.

Решению этой проблемы во многом способствует нарастающая популярность так называемых технологий быстрого прототипирования Rapid Prototyping (RP – технологий) [4].

Быстрое прототипирование – это быстрый технологический процесс создания точных копий изделия или образцов для демонстрации их внешних характеристик по компьютерной 3D модели.

В настоящее время существует множество RP-технологий. Они отличаются исходным материалом, способом построения и формирования твердотельной модели.

Различают следующие методы быстрого прототипирования:  
*Стереолитография (SLA – Stereo Lithography Apparatus)*

Это самый первый и наиболее распространенный метод прототипирования, благодаря сравнительно невысокой стоимости прототипа. Принцип метода стереолитографии заключается в послойном отверждении жидкого фотополимера (рис. 1). Лазерный луч, направляемый сканирующей системой, смещается вниз по слоям с шагом 0,025–0,3 мм. При этом методе применяется достаточно твердый, но хрупкий полупрозрачный материал. Материал легко обрабатывается, склеивается и окрашивается, обеспечивая хорошее качество моделей.

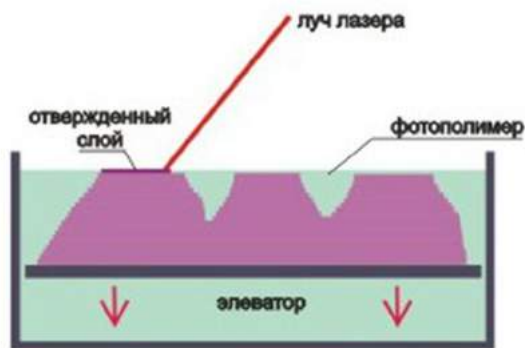


Рис. 1. Принцип построения модели методом стереолитографии

### *Нанесение термопластов (FDM – Fused Deposition Modeling)*

Используются нити из АБС (акрилонитрилбутадиенстирол), поликарбоната или воска. Свойства используемых пластиков очень близки к конструкционным маркам. Термопластичный моделирующий материал подается через выдавливающую головку с контролируемой температурой, нагреваясь там до полужидкого состояния (рис. 2). Головка наносит материал очень тонкими слоями на неподвижное основание с высочайшей точностью. Последующие слои ложатся на предыдущие, отвердевают и соединяются друг с другом.

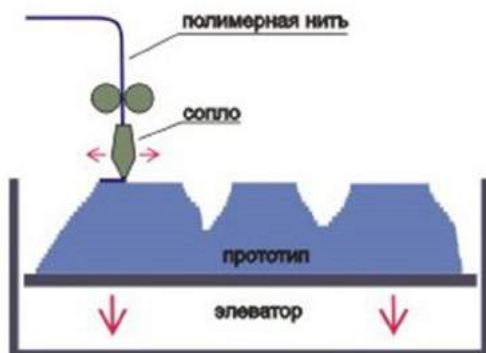


Рис. 2. Принцип построения модели методом нанесения термопласта

Технология применяется для получения единичных образцов изделий, по своим функциональным возможностям приближенных к серийным, а также при производстве выплавляемых моделей для литья металлов.

### *Склеивание порошков (Binding powder by adhesives)*

Используются крахмально-целлюлозный порошок и жидкий клей на водяной основе, который поступает из струйной головки и связывает частицы порошка, формируя контур модели (рис. 3). По окончании построения излишки порошка удаляются. Для увеличения прочности модели имеющиеся пустоты могут быть заполнены жидким воском. Такие технологии позволяют не просто создавать 3D-объекты произвольной формы, но еще и раскрашивать их.

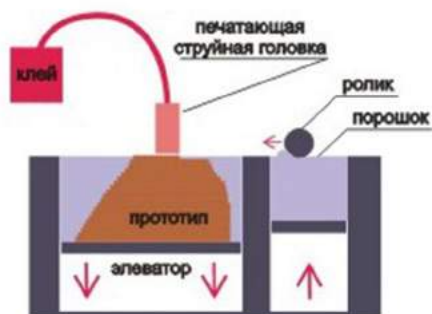


Рис. 3. Принцип построения модели методом склеивания порошков

#### *Лазерное спекание порошков (SLS – Selective Laser Sintering)*

В SLS-технологии в качестве рабочего материала используются порошковый пластик, металл или керамика, близкие по свойствам к конструкционным маркам.

На поверхность наносится тонкий слой порошка, который затем спекается лазерным лучом, формируя твердую массу, соответствующую сечению 3D-модели и определяющую геометрию детали (рис. 4). SLS – это единственная технология, которая может быть применена для изготовления металлических деталей и формообразующих для пластмассового и металлического литья. Прототипы из пластмасс обладают хорошими механическими свойствами, могут быть использованы для создания полнофункциональных изделий.

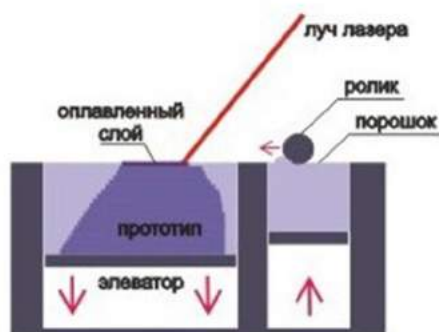


Рис. 4. Принцип построения модели методом лазерного спекания порошков



### *Моделирование при помощи склейки (LOM – Laminated Object Manufacturing)*

Слои прототипа создаются при помощи ламинирования бумажного листа. Контур слоя вырезается лазером, а поверхность, которую нужно затем удалить, режется лазером на мелкие квадратики. После извлечения детали мелко порезанные излишки материала легко удаляются. Структура полученного прототипа похожа на древесную, боится влаги.

### *Технология струйного моделирования (IJM Ink Jet Modelling)*

Головка устройства, содержащая от двух до 96 сопел, наносит модельный и поддерживающий материал на плоскость слоя. После нанесения слоя могут проводиться его фотополимеризация и механическое выравнивание (рис. 5).

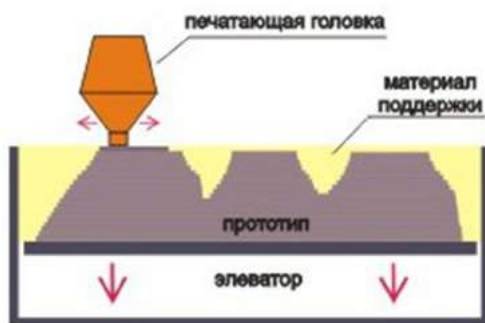


Рис. 5. Принцип построения модели методом струйного моделирования

В качестве поддерживающего материала обычно используется воск, а в качестве модельного – широкий спектр материалов, очень близких по свойствам к конструкционным термопластам. Данный метод позволяет получать прозрачные и окрашенные прототипы с различными механическими свойствами – от мягких, резиноподобных до твердых, похожих на пластики [5].

Для решения задачи стойкости литейной оснастки на базовом предприятии (ОАО НИИИММ «Прометей», г. Нижний Новгород) был сделан выбор в пользу FDM-технологии быстрого прототипирования с использованием в качестве материала модели термопласта марки ABS. Выбор данной технологии обуславливается ее свойствами:

1. Гибкость настроек печати.
2. Относительно высокая скорость печати.
3. Отсутствие выброса вредных и ядовитых веществ в процессе печати.
4. Дешевый расходный материал.

Пластик ABS – это ударопрочная техническая термопластическая смола на основе сополимера акрилонитрила с бутадиеном и стиролом [6].

ABS-пластик и его композиции широко применяются в автомобильной промышленности, а на его основе выпускаются пластиковые детали интерьера и внешней отделки автомобилей. В приборостроении пластик ABS применяется в качестве конструкционного материала для корпусов электроинструментов, бытовых электроприборов, холодильников, телевизоров, аккумуляторов [7].

Выбор этого пластика в качестве материала для печати модели обуславливается его положительными свойствами:

- повышенная ударопрочность и эластичность;
- нетоксичность;
- долговечность;
- стойкость к щелочам и кислотам;
- влагостойкость [6].

ABS-пластик легко поддается обработке – резке, сверлению, шлифованию. Его можно клеивать универсальными клеями и шпаклевать.

На первой стадии работы проектировался стержневой ящик: по чертежу будущей отливки в графическом редакторе NX Unigraphics строилась 3D-модель стержня, по которой с учетом припусков на механическую обработку, припуска на усадку была получена трехмерная модель стержневого ящика в формате .PRT. Исходя из экономии материала и того, что в дальнейшем стержневой ящик будет помещаться в коробчатый каркас стенки, были сделаны максимально тонкими, но достаточными, чтобы не пострадала жесткость оснастки. В донной части, на стадии трехмерного моделирования, при помощи Булевых операций были выполнены знаковые отверстия для установки выпоров.

Выращивание твердотельной модели производилось на 3D-принтере фирмы Bits from Bytes модели 3D Touch 3000. Данный принтер имеет две печатающие головки, возможна печать как ABS-так и PLA-пластиком. Максимальный объем печати составляет 230x275x210 мм.

Для удобства подготовки последующего изготовления ящика на 3D-принтере, представленного на рис. 6, полученная компьютерная модель была разделена на 8 частей из-за превышения габаритов ящика над размерами области печати принтера данной модели.



Рис. 6. 3D принтер 3D Touch 3000 фирмы Bits from Bytes

Выбранные параметры печати представлены в таблице.

#### Параметры печати

Материал	Толщина слоя, мм	Процент заполнения внутренних полостей, %	Общее время печати, ч
ABS	0,4	5	~ 50

Процесс печати представлял собой послойное выращивание твердотельной модели. На начальном этапе 3D-принтер выстраивал подложку – основу для будущих построений – плоскую поверхность толщиной в два слоя пластика.

Последующая обработка заключалась в доводке рабочих поверхностей стержневого ящика шлифовальной шкуркой мелкой зернистости. Это операция была необходима для удаления «ряби», характерной для FDM-технологии и получаемой на поверхности модели в процессе печати.

Склейка осуществлялась на универсальный клей, обеспечивающий надежность и податливость соединения. Готовая модель стержневого ящика представлена на рис. 7.



Рис. 7. Стержневой ящик, изготовленный по технологии FDM

На завершающем этапе производства после сборки всех составных частей для придания жесткости конструкции формообразующая часть стержневого ящика помещалась в коробчатый каркас, выполненный из древесины. Каркас представляет собой рамку, изготовленную из соснового бруса толщиной 40 мм, скрепленный на шурупах.

Испытания экспериментального стержневого ящика в условиях действующего производства показали увеличение эксплуатационного ресурса по сравнению с ресурсом работы деревянного стержневого ящика в 6 раз. Коробление и разбухание не обнаружено. Агрессивная среда ХТС не разъедает поверхность стержневого ящика, зафиксирована лучшая выбиваемость, отсутствуют обвалы и разрушение стержня.

Важным преимуществом изготовления стержневого ящика методом быстрого прототипирования является время получения готовой модели. Отсутствуют подготовительные работы по сравнению с традиционным способом изготовления деревянной оснастки. Исходя из этого, время изготовления готового стержневого ящика сократилось примерно в два раза.

Таким образом, применение FDM-технологии быстрого прототипирования для производства литейной оснастки позволяет изготавливать стержневые ящики с увеличенным эксплуатационным ресурсом и получать стержни с качественной рабочей поверхностью без искажения геометрии и формы.

---

---

УДК 669.14.018.256

**А.Ю. Столяров, Н.В. Токарева**

ОАО «Специальные технологии»

**А.Б. Сычков, О.Б. Макарушина, С.О. Малашкин**

Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПАТЕНТИРОВАНИИ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ КАТАНКИ И ПРОВОЛОКИ**

Традиционно в нашей стране нагрев проволоки для патентирования осуществляется в электрических или газовых печах, а также с помощью прямого пропускания тока. В качестве закалочной среды используется расплав свинца или соли (селитра – азотнокислый натрий и калий, их смеси) [1]. В работе [2] проведён патентный обзор имеющихся способов нагрева и контролируемого охлаждения проволоки после аустенитизации, используемых за рубежом. В результате анализа мы пришли к выводу, что применяемые в отечественном производстве патентировочные среды малоэффективны, а используемые режимы патентирования в свинце катанки и проволоки малых и больших диаметров не рациональны. Поэтому требуется проведение математического и физического моделирования теплового и структурного процессов, протекающих при патентировании металла.

Компьютерное моделирование процессов термической обработки металлов находит в последнее время широкое применение за рубежом. Так, например, в работе [3] с помощью программного комплекса «ABAQUS» было установлено поле температур при охлаждении проволоки диаметром 1,80 мм из стали с содержанием углерода 0,72% до температуры 510<sup>0</sup>С, предварительно нагретой до температуры 910<sup>0</sup>С. Установлено оптимальное время выдержки проволоки в свинцовой ванне – 10 с, а расстояние между пластинами цементита – 29 нм. В работе [4] было установлено влияние режимов термической обработки на свойства деталей, используемых в аэрокосмической промышленности. Исследования проведены в «Lulea University of Technology University» совместно с компанией «Volvo Aero» (Швеция). В работе отмечено, что на стадии проектирования и разработки технологических процессов компьютерное моделирование позволяет значительно сократить

затраты на производство и снизить риски, связанные с выпуском дефектной продукции. В работах [5, 6] американскими исследователями «Department of Mechanical and industrial engineering University of Iowa» с помощью программного пакета «DANTE» исследовалось влияние режимов термической обработки и цементации стали на остаточные напряжения и твердость. В работе [7] южно-корейскими учёными с помощью конечно-элементного моделирования разработаны термические, термодинамические и кинетические модели поведения стали при горячей прокатке полосы, а в работе [8] – с помощью программного комплекса «ABAQUS» исследовано влияние кинетики мартенситного превращения на свойства цилиндрических образцов из низкоуглеродистой легированной хромом стали.

В нашем случае, при анализе структурообразования при патентировании высокоуглеродистой проволоки и катанки из стали марки 80 моделирование проводилось в программной среде DEFORM 3D HT на базе ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И.Носова».

Адекватность модели реальному процессу обеспечивалась:

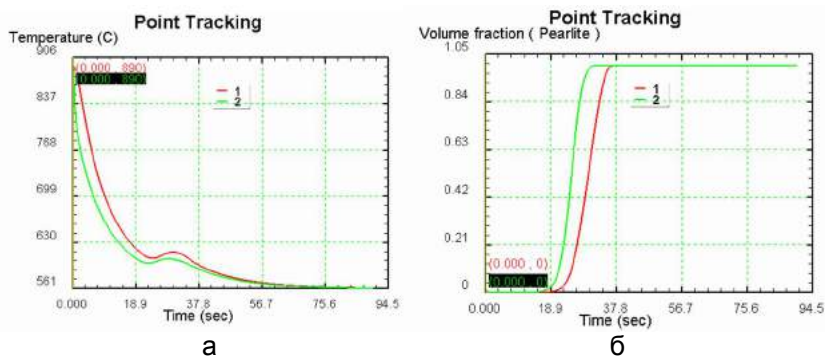
- фактическими свойствами материала (термокинетическая диаграмма) [9];
- расчетными значениями коэффициента конвективного теплообмена  $\alpha$  [10];
- скрытой теплотой фазового перехода [11].

Было проведено исследование кинетики распада и структурообразования переохлажденного аустенита для температуры аустенитизации ( $t_a = 840, 890$  и  $940^\circ\text{C}$ ) и температуры изотермической выдержки в свинцовой ванне ( $t_c = 480, 510$  и  $560^\circ\text{C}$ ) на трех профилерах – катанка диаметром 5,5 и 16,0 мм и проволока диаметром 3,0 мм. В результате компьютерного моделирования получены температурные кривые по сечению образцов и зависимости объёмной доли аустенита и перлита от времени процесса

На рисунке для примера представлены зависимости температуры поверхностных и центральных слоёв катанки диаметром 16 мм от времени при температуре печи  $890^\circ\text{C}$  и температуре свинцовой ванны  $560^\circ\text{C}$  и данные по объёмной доле перлита для тех же условий.

В результате анализа температурных кривых, полученных при компьютерном моделировании, установлено, что предпочтительным режимом термической обработки катанки диаметром 16,0 мм является температура аустенитизации  $890^\circ\text{C}$ , температура

превращения  $560^{\circ}\text{C}$ , поскольку для этого сочетания на кривых охлаждения не наблюдается резких изменений температур по сечению. На основании полученных данных для центральных и поверхностных слоёв катанки (проволоки) было определено необходимое время распада переохлаждённого аустенита и зависимость разницы температуры от времени.



Результаты моделирования термической обработки катанки диаметром 16 мм при температуре печи  $890^{\circ}\text{C}$  и температуре свинцовой ванны  $560^{\circ}\text{C}$  для центральных (1) и поверхностных (2) слоёв программной среде DEFORM 3D HT:  
а – зависимости температуры от времени;  
б – зависимость объёмной доли перлита от времени

Результаты физического моделирования (анализ полученных структур) представлены в таблице, где приняты следующие условные обозначения: С – сорбит, П – перлит, Б – бейнит, Т – троостит, ПП – пластинчатый перлит, СП – сорбитообразный перлит. Анализ данных показывает, что для всех диаметров катанки и проволоки при патентировании наиболее эффективным является диапазон разницы температур (степень переохлаждения) на уровне  $310\text{--}330^{\circ}\text{C}$ , при котором для проволоки диаметром 3,0 мм формируется структура чистого сорбита, иногда с редкими прожилками феррита (остатки сетки), для катанки диаметром 5,5 мм – сорбитообразный перлит, для проката в бунтах диаметром 16,0 мм – сорбитообразный перлит с участками пластинчатого перлита.

Таким образом, результаты компьютерного моделирования подтверждаются данными физического моделирования.

## Результаты полупромышленного эксперимента

Тп/тсв	d, мм	940°С	890°С	840°С
560°С	3.0	С, редкие уч. ПП	С, Ф (в виде прожилок)	Ф, зернистый перлит
	5.5	СП (перистая структура ближе к трооститной )	СП	СП, Ф (в виде прожилок), редко
	16.0	П	С,П примерно поровну	Грубый П
510°С	3.0	С	С (участки ПП редко)	СП, уч. ПП (редкие)
	5.5	СП, уч. ПП, уч. ферритной сетки (редко)	С	СП, уч. ПП (редкие)
	16.0	ПП, участки грубого перлита	С, участки ПП	СП, ПП, прожилки феррита
480°С	3.0	Б	Ф,П	Перистая (игольчатая) структура П и верхнего Б
	5.5	СП (перистая структура ближе к трооститной )	С, ПП	Перистая (игольчатая) структура П и верхнего Б
	16.0	Т, уч. П	С,П	СП, уч. ПП, карбиды внутри зерна

## Литература

1. Потёмкин К.Д. Термическая обработка и волочение высокопрочной проволоки. М.: Металлургия, 1963. 117 с.
2. Столяров А.Ю., Токарева Н.В. Формирование однородной перлитной структуры патентованной заготовки при производстве высокопрочного шинного корда // Метиз. 2011. №1. С.18–24.
3. Aghazadeh J., Saadatmand M. The optimization of interlamellar spacing in a nanopearlitic lead-patented hypoeutectoid steel wire // Journal of materials engineering and performance. 2011. Vol. 20(8). P.1467.
4. Alberg Henric. Material modeling for simulation of heat treatment // Luleå University of Technology University. 2008. №7. P. 22.



5. Hardin R.A., Beckerman C. Simulation of heat treatment distortion // Technical and operating conference. Paper № 3.3. Steel founders society of America. Chicago. IL. 2005.
6. Ferguson B.L., Li Z., Freborg A.M. Modeling heat treatment of steel parts // Computational materials science. 2005. 34. P.274–281.
7. Heung Nam Han, Jae Kon Lee, Hong Joon Kim. A model for determination temperature and phase transformation behavior of steels on run-out table in hot strip mill // Journal of materials processing technology. 2002. 128. P.216–225.
8. Seok-Jae Lee, Young-Kook Lee. Finite element simulation of quench distortion in a low-alloy steel incorporating transformation kinetic. Acta Mat. 2008. 56. P.1482–1490.
9. Использование комплекса GLEEBLE 3500 для определения критических точек микролегированной стали 80P [Электронный ресурс] / Д.М. Чукин, М.В. Чукин, А.С. Ишимов, М.С. Жеребцов, А.И. Мешкова // Международный научно-исследовательский журнал. Режим доступа: <http://research-journal.org/featured/technical/ispolzovanie-kompleksa-gleeble-3500-dlya-opredeleniya-kriticheskix-tochek-mikrole-girovannoj-stali-80r/>.
10. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. 753 с.
11. Высокопрочная арматурная сталь / А.А. Кугушин, И.Г. Узлов, В.В. Калмыков и др. М.: Металлургия, 1986. 272 с.

## Раздел 6

**ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИ И ЭКОНОМИКИ  
В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

УДК 621.74

**В.А. Коровин, А.С. Романов, И.О. Леушин, Т.Д. Курилина**  
Нижегородский государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексеева

**УТИЛИЗАЦИЯ ШЛАМОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

В последнее время остро встал вопрос о повышении экологичности производства и организации рециклинга. В таких важных отраслях, как горная промышленность, энергетика, химическое производство, металлургия, машиностроение, строительство образуются отходы, масса которых в мире возрастает – они получили название техногенных. Проблема заключается в том, что основная масса техногенных отходов и не перерабатывается, и не может быть переработана на тех предприятиях, где образуется. По имеющимся данным, только на территории РФ их накоплено более 80 млрд т. Между тем они могут быть переработаны и утилизированы с пользой для народного хозяйства [1].

**Исследования гальваношлама коричневого** дали следующие результаты: влажность  $W = 82,2\%$ ; водородный показатель  $pH = 7$ ; насыпная плотность  $\rho = 963 \text{ кг/м}^3$ ; изменение массы при прокаливании  $X = 70,33\%$ ; гигроскопичность  $X = 0\%$ .

Гальванические шламы представляют собой рыхлую пасту светло-коричневого цвета с визуально определяемым высоким содержанием влаги. Отход относится к 3-му классу опасности – умеренно опасный. Годовой выход отхода составляет в среднем 373,05 т.

Компонентный состав отхода, %: твердая фаза, в т.ч. Pb 0,02; Zn 6,21; Cu 2,36; Ni 0,64; Fe 1,07; Cr 0,56; нефтепродукты 0,24; гашеная известь 20,7; вода 68,2.

В настоящее время существуют два направления утилизации гальванических шламов (ГШ). Генеральное направление – внедрение методов переработки шламов, позволяющих селективно извлекать все цветные металлы или их концентраты из гальва-

нических растворов и шламов. Разработаны различные методы выделения ценных компонентов из ГШ. В МХТИ им. Д.И. Менделеева разработан метод кислотного выщелачивания с использованием серной и азотной кислот. В процессе переработки образуется нерастворимый осадок, не содержащий тяжелых металлов, который можно использовать в качестве связующей добавки к строительным материалам. В 1994 г. Институт химии ДВО РАН занимался разработкой способов утилизации ГШ, образующихся в результате работы гальванических цехов на заводах Приморского края. Рекомендации Института являются актуальными и в настоящее время. Кроме того, данный институт разработал специально для ОАО КНААПО специальную технологию утилизации ГШ [4].

Сухой хромсодержащий шлам можно перерабатывать в хромат натрия, пригодный для производства пигментов строительной индустрии. Для этого сухие хромсодержащие отходы смешивают с отходами процессов изотермической закалки сталей и подвергают окислительному обжигу при температуре 900–1000°С. Полученный продукт измельчают, выщелачивают из него хромат натрия.

Однако ввиду большого разнообразия и сложности химического состава осадков сточных вод гальванического производства выделение металлов достаточно трудоемко и не производится по причине отсутствия экономически приемлемых технологий. Поэтому основной упор следует делать на комплексную переработку ГШ.

На первом этапе (до разработки соответствующих технологий) целесообразно использование обезвреженных шламов в качестве добавок к сырью для других отраслей промышленности (для получения различных материалов). Например, хромсодержащие осадки после сушки до влажности 2% и прокаливания используют в качестве красителей при производстве декоративного стекла. В шихту добавляют 0,5–2% ГШ. В зависимости от химического состава введенного шлама получают образцы стекла разного цвета. Железосодержащие шламы после сушки используются для получения высококачественных ферритов, применяемых в электротехнической, радиотехнической, химической промышленности. При этом происходит химическая фиксация токсичных соединений шламов путем ферритизации.

Обезвоженные железосодержащие шламы могут использоваться для производства красного кирпича, керамзита и строительной керамики (черепицы). При вводе в керамическую смесь тяжелых металлов происходит их надежное обезвреживание и захоронение. В результате обжига цветные металлы переходят в

нерастворимую форму, безопасную для окружающей среды. С использованием ГШ можно получить пигменты для цветных глазурей для покрытия облицовочных плиток. Шламы, прошедшие сушку, вводят в состав шихты при варке фритт в количестве 20–50%. Производят силикатизацию отвержденных шламов с использованием вяжущих материалов (портландцемента). Обработка шламов отвердителями позволяет получить материал, безопасный для окружающей среды. В результате получают нерастворимые отвержденные блоки для строительства.

Возможна утилизация ГШ на металлургических предприятиях (цинковых заводах, медеплавильных и никелевых комбинатах, сталеплавильных производствах) в качестве легирующих добавок. При использовании осадков в металлургических производствах их влажность не должна превышать 10–15%, что достигается термической сушкой.

Включение в глобальный производственный цикл переработки промышленных отходов решает одновременно две актуальные мировые проблемы – проблему ресурсов и проблему сохранности окружающей среды [4]. Наиболее предпочтительным способом решения проблемы утилизации промышленных отходов является производственный рециклинг. Однако практика мирового хозяйства показала, что более 70% всех образующихся техногенных отходов не могут быть переработаны предприятиями – изготовителями отходов. Это относится, прежде всего, к предприятиям энергетики, транспорта, оборонным отраслям промышленности, машиностроению и др. Это также целиком относится к отложенным отходам. Перерабатывать подобные материалы предстоит отраслям, не производившим эти отходы. Таким образом, назрела проблема концепции «глобального» (межотраслевого и межрегионального, а в будущем и международного) рециклинга материалов. Важнейшую роль в этом процессе могут сыграть предприятия черной металлургии. Некоторые металлургические агрегаты обладают уникальными возможностями для переработки практически любых видов отходов и, что не менее важно, достаточной производительностью. Прежде всего, к таким агрегатам относятся шахтные печи, например доменные и ваграночные, используемые соответственно для извлечения железа из рудного сырья и выплавки литейного чугуна. В упомянутых агрегатах могут быть использованы как кусковые, так и мелкодисперсные твердые и влажные техногенные материалы, жидкие и газообразные токсичные отходы (в том числе

содержащие углерод и водород, галогенсодержащие, взрывоопасные, включающие свинец, стронций, мышьяк и др.). При этом:

- полностью исключаются выбросы токсичных соединений на поверхность земли (поскольку доменные и ваграночные шлаки и шламы являются ценным сырьем для строительной индустрии);

- минимизируются выбросы в водный бассейн (так как в черной металлургии вода используется для охлаждения агрегатов и лишь незначительно для влажной очистки от неуловленной пыли и смыва мелкодисперсных отходов);

- минимизируются выбросы в атмосферу (в доменном процессе невозможно, например, образование таких токсичных соединений, как диоксины и фураны, оксидов азота, любых сложных углеводородных соединений и т.п.);

- доменный газ является ценным энергетическим сырьем и полностью утилизируется.

Одной из важнейших задач литейного производства является получение отливок с чистой поверхностью и размерами, максимально приближенными к готовым изделиям. Её решение в значительной степени зависит от выбора противопригарных материалов. В настоящее время известно более 400 составов противопригарных покрытий литейных форм. Однако многие из них обладают высокой ценой или имеют ограниченную область использования, что затрудняет их широкое применение на производстве.

Применение отходов гальванического производства в противопригарных красках. В результате цикла экспериментальных работ предложено противопригарное покрытие с наполнителем следующего состава (см. таблицу).

Представленный состав может быть получен в результате смешения отходов ванн травления и ванн фосфотирования в равных пропорциях.

Для приготовления готового покрытия к наполнителю добавляется связующее (декстрин) 10% по массе и вода до плотности 1600 кг/м<sup>3</sup>.

Данный состав наполнителя обеспечивает получение качественных отливок из железоуглеродистых сплавов, так как наличие в составе ОГП оксидов железа Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> способствует получению легкоотделимой корки пригара при изготовлении чугунных и стальных отливок. Увеличение содержания Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> более 80% приводит к росту затрат углерода, необходимого на его восстановление до Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, FeO и Fe, что, в свою очередь, может значительно увеличить глубину обезуглероженного слоя на стальных отливках. Уве-

личение содержания оксида натрия в покрытии приводит к уплотнению корки пригара и его привариванию к поверхности отливки. Повышение содержания  $P_2O_5$  в противопопригарном покрытии приводит к нежелательной диффузии фосфора в материал отливки. В процессе сушки происходит термодеструкция органических компонентов, входящих в состав отходов. Результаты химического анализа летучих компонентов доказали экологическую безопасность применения гальваношламов.

#### Химический состав наполнителя (усредненный)

Компонент	Содержание, %
Оксид железа ( $Fe_2O_3$ )	79,3
Оксид цинка ( $ZnO$ )	0,1
Оксид натрия ( $Na_2O$ )	1,3
Оксид фосфора ( $P_2O_5$ )	2,0
Оксид кремния ( $SiO_2$ )	5,0
Оксид алюминия ( $Al_2O_3$ )	1,2
Хлориды	0,3
Нитраты	<0,1
Остальное*	0,9
Влажность**	10,0

\*По уточненному химическому анализу в состав отходов входят углеродсодержащие добавки, применяемые для улучшения технологических свойств гальванованн, и до 20 неорганических соединений, в том числе соединений серы и хлора.

\*\*Кристаллогидратная вода и вода, образовавшаяся в результате деструкции органических примесей.

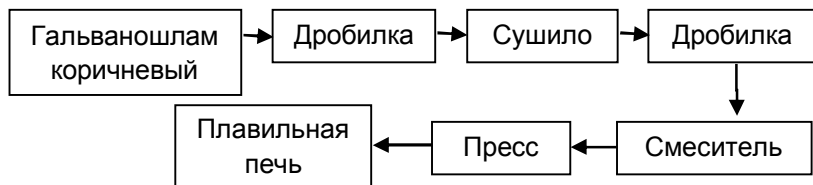
В отходах присутствуют в значительном количестве сернистый ангидрид и хлористый водород, так как для травления изделий использовались растворы серной и соляной кислот. Остальные органические соединения являются продуктами взаимодействия компонентов гальванованн, остатками ПАВ, разделительных покрытий и др.

Таким образом, применение противопопригарного покрытия предложенного состава обеспечивает лёгкое удаление пригара и повышение качества поверхности отливок.

В качестве варианта вторичного использования ГШ предлагается брикетирование для последующего использования в плавке.

Обоснование выбора данного варианта использования отхода: высокое содержание гашеной извести (гидроксида кальция) позволяет рассматривать гальванический шлам и окислы основных элементов ГШ как шлакообразующий материал (альтернатива известняку) при плавке стали и чугуна по возможному пути вторичного применения при плавке.

**Принципиальная схема рециклинга.** Брикетирование для последующего использования в плавке.



**Требования к характеристикам материала на «входе» вторичного цикла использования:**

- 1) отсутствие посторонних включений в составе материала;
- 2) способность измельчаться;
- 3) способность просеиваться через сита с технологически необходимым размером ячеек;
- 4) влажность до 30%;
- 5) иметь малую гигроскопичность после сушки.

**Принципиальная схема (операции) подготовки материала ко вторичному применению в производственной технологии:**

- дробление;
- сушка;
- смешивание;
- прессование;
- увлажнение;
- формовка.

Состав брикетов на основе ГШ, использованных в опытных плавках чугуна, %: стружка чугуная – 30; стружка стальная – 30; гальваношлам – 20; углеродсодержащий материал – 20.

Механические свойства образцов брикетов, дифференцированно выбранных из опытной партии:

- образец №1 – 1400 кгс / 17,8 кг/мм<sup>2</sup>;

- образец №2 – 1000 кгс / 12,7 кг/мм<sup>2</sup>;
  - образец №3 – 1800 кгс / 22,9 кг/мм<sup>2</sup>;
  - образец №2 – 1620 кгс / 20,6 кг/мм<sup>2</sup>.
- Вид брикета показан на рисунке.



Общий вид брикета на основе ГШ

Употребляемая для брикетирования чугунная стружка не должна быть засорена мусором и металлическим кусковым ломом. Содержание стальной стружки в ней допускается не более 3% по весу. Стружка не должна быть проржавевшей, горелой или разъеденной кислотами. Плотность брикета должна быть не менее 5 кг/дм<sup>3</sup>. Размеры брикета должны соответствовать: диаметр – 140 мм; высота – не более 80 мм.

При наружном осмотре брикеты не должны иметь трещин. При свободном падении с высоты 1,5 м на металлическую или бетонную плиту брикет не должен разваливаться на куски или давать трещины. Осыпь стружки при испытании брикета допускается не более 3% от его веса. В случае соблюдения вышеописанных параметров брикетов их плотность не служит браковочным признаком.

Таким образом, прочный брикет, получаемый из смеси стружки и гальваношлама, может служить полноценным шихтовым материалом.

Изложенные технологии позволяют утилизировать гальванические шламы и двигаться по пути создания малоотходных технологий.



---

---

### Литература

1. Цветная и чёрная металлургия на emchezgia.ru [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://emchezgia.ru/ekologiya/2\\_Tekhnogennye\\_otkhody.php](http://emchezgia.ru/ekologiya/2_Tekhnogennye_otkhody.php).
2. Макаров В.М. Комплексная утилизация осадков сточных вод гальванических производств (гальваншламов): дис. ... д-ра техн. наук / В.М. Макаров. Иваново, 2001. 406 с. URL: [http://murzim.ru/nauka/jekologija/jekologicheskaja-geohimija/25356-othody-galvanicheskikh\\_proizvodstv-galvanoshlamy.html](http://murzim.ru/nauka/jekologija/jekologicheskaja-geohimija/25356-othody-galvanicheskikh_proizvodstv-galvanoshlamy.html) (дата обращения: 02.05.2013).
3. Свое дело [Электронный ресурс]: [офиц. сайт]. Электрон. дан. Режим доступа: <http://proizvodim.com/pererabotka-otxodov-galvanicheskix-proizvodstv.html>.
4. База данных по обращению с отходами производства и потребления в Хабаровском крае [Электронный ресурс]: [офиц. сайт]. Электрон. дан. Режим доступа: <http://laws.khv.gov.ru/oth/>.
5. Применение отходов гальванического производства в составе противопригарных красок / И.С. Крюкова, И.О. Леушин, С.В. Беляев, С.В. Калистов // Заготовительные производства в машиностроении. 2007. №7. С.5–7.
6. Крюкова И.С., Беляев С.В., Леушин И.О. Применение отходов гальванического производства для формирования легкоотделимого пригара на стальных отливках // Литейщик России. 2008. № 2. С.43–44.
7. Крюкова И.С., Леушин И.О., Беляев С.В. Экологические аспекты применения отходов гальванического производства в качестве наполнителя противопригарного покрытия // Черные металлы. 2008. № 8. С.9–11.
8. Противопригарные покрытия на основе отходов гальванического производства для стальных отливок / И. О. Леушин, С.В. Беляев, И.С. Крюкова, И.В. Казакова // Заготовительные производства в машиностроении. 2009. №1. С.12–14.
9. EMCHEZGIA. RU [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://emchezgia.ru/ekologiya/15\\_pererabotka\\_staleplavilnoi\\_pyli.php](http://emchezgia.ru/ekologiya/15_pererabotka_staleplavilnoi_pyli.php).

УДК 669.162.266.446:669.162.252.46

**Е.С. Селиванова, З.М. Боброва**

Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

## МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ СОЕДИНЕНИЙ СЕРЫ В АТМОСФЕРУ ПРИ ГРАНУЛЯЦИИ ДОМЕННОГО ШЛАКА

Основная масса отходов металлургических процессов образуется в виде шлаков.

Шлаки – это продукты высокотемпературного взаимодействия компонентов исходных материалов (топлива, руды, плавней и газовой среды).

Наибольшим является выход доменных шлаков, на 1 т чугуна он составляет в среднем 0,35 т.

Классификация доменных шлаков, в зависимости от их кислотности, представлена в таблице.

Классификация доменных шлаков

Наименование показателей	Группа шлаков		
	Сверхкислые	Кислые	Основные
Содержание окислов, %			
SiO <sub>2</sub>	47,4–60,4	33,3–45,8	25,1–37,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,9–23,9	8,9–28,0	10,2–21,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1–0,6	0,1–8,1	0,1–1,3
FeO	5,7–21,6	1,1–8,9	0,5–3,0
CaO	1,9–4,4	33,1–46,5	46,6–51,6
MgO	0,8–2,8	0,2–4,5	0,2–1,1
Содержание стекловидной фазы, %	1–4	1–14	15–82
Модуль основности $M_o = (CaO + MgO) / (SiO_2 + Al_2O_3)$	0,05–0,09	0,60–0,90	1,00–1,10
Модуль активности $M_a = Al_2O_3 / SiO_2$	0,37–0,50	0,26–0,80	0,30–0,80

В ОАО «ММК» в месяц в среднем производят 270 000 т доменного шлака, из них 110 000 т – гранулированного шлака, полученного способом мокрой грануляции. Гранулированный доменный шлак выпускается в соответствии с ГОСТ 3476-74 «Шлаки домен-

ные и электротермофосфорные гранулированные для производства цемента».

На данный момент гранулированный шлак полностью реализуется. В том числе одним из потребителей является ОАО «Магнитогорский цементно-огнеупорный завод».

Шлак в виде твердых остатков полностью идет в цех переработки металлургического производства. В ОАО «ММК» построены три установки механической переработки шлаков «АМКМ» с производительностью около 9 млн т шлаков в год, и в течение 10 лет все шлаковые отвалы будут ликвидированы. Получаемая пустая порода идет на рекультивацию горы Магнитной.

Применяют следующие способы грануляции: мокрой и сухой.

Мокрая грануляция заключается в резком охлаждении расплавленного шлака. Установки мокрой грануляции несложны, имеют высокую производительность, а выполнение технологического процесса требует небольших затрат труда. Однако шлаки мокрой грануляции имеют высокую влажность (10–30%) [1].

Основные недостатки получения шлака методом мокрой грануляции: значительный выброс в атмосферу серосодержащих соединений, большое потребление воды и загрязнение ее щелочными компонентами доменного шлака. Применяя способ сухой грануляции [2], шлак получается достаточного хорошего качества и отсутствует загрязнение воздуха вредными веществами. Сухую грануляцию осуществляют в закрытых емкостях с отсосом и очисткой выбросов, что значительно снижает экологические затраты.

Предложено экологически безопасное получение шлака с низким содержанием серы путем связывания ее в нетоксичное газообразное соединение  $SF_6$ . В процессе выпуска жидкого доменного шлака в него вводят плавиковый шпат, после чего расплав продувают кислородосодержащим газом, а затем расплав гранулируют [3].

Известен способ очистки смеси паров и воздуха, загрязненной серосодержащими газами при получении доменного шлака в установке для гранулирования, который заключается в опрыскивании смеси жидкой средой. В результате этого воздух очищается, и сконденсированные пары впоследствии удаляются [4].

Запатентован способ обработки выпускаемого шлака из доменной печи. При выпуске шлака из домны в него в качестве добавок подают различные железосодержащие отходы металлургиче-

ского производства. При этом обеспечивается снижение выделений в атмосферу соединений серы [5].

Экологические проблемы, связанные с выбросом в атмосферу соединений серы и с загрязнением сточных вод, можно решить несколькими путями:

1. Применение другого вида грануляции доменного шлака.
2. Добавление в получаемый доменный шлак мокрой грануляции различного рода компонентов, например поверхностно-активные вещества.

С экономической точки зрения, ОАО «ММК» оплачивает огромные суммы за загрязнение окружающей среды, в том числе и за загрязнение соединениями серы, поэтому усовершенствование методики получения гранулированного шлака является весьма перспективной и экономически целесообразной задачей.

### Литература

1. Дворкин Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности: учеб.-справ. пособие. Ростов н/Д.: Феникс, 2007. 363 с.
2. Рябова Т.В. Новые технические решения по охране окружающей среды в черной металлургии // Новости черной металлургии за рубежом. 2002. № 2. С. 104–105.
3. Пат. 2164954 Россия, МПК С 21 С 5/54, С 21 С 7/064. Способ десульфурации шлака / Вдовин К.Н., Чернов В.П., Колокольцев В.М. и др. № 99122125/02; заявл. 22.10.1999; опубл. 10.04.2001, Бюл. № 8. 5 с.
4. Пат. 2113271 Россия, МПК В 01 D 53/14, В 01 D 53/18. Способ и устройство для очистки смеси паров и воздуха, загрязненной серосодержащими газами и образовавшейся при получении гранулята шлака от доменной печи / Эрнест Фабер (LU), Ромэн Фриден (LU), Марк Сольви (LU), Луи Шмит (LU), Леон Юльвелинг (LU). № 93029614/25; заявл. 01.06.1993; опубл. 20.06.1998, Бюл. № 4. 3 с.
5. Пат. 2215042 Россия, МПК С 21 В 3/06. Способ обработки выпускаемого шлака из доменной печи / Лисин В.С., Лизогуб П.В., Коротчаев А.С. и др.; ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат». № 2002103708/02; заявл. 15.02.2002; опубл. 27.10.2003, Бюл. № 32. 5 с.

УДК 349.415

**З.М. Боброва, О.Ю. Ильина, Т.Ю. Зуева**Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

### **РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОПРОСОВ ОХРАНЫ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ И НЕДР**

В Магнитогорске кроме крупнейшего в Европе металлургического комбината действуют еще около 40 предприятий, среди которых калибровочный, метизно-металлургический и машиностроительный заводы, крупные автопарки. В окрестностях – карьеры по добыче железных руд и флюсов, цементный завод. Все это вместе взятое не может не отразиться на почвенном покрове города. При проведении работ по мониторингу нарушенных земель выявляется актуальная информация о состоянии и использовании земель с отражением последствий проявления техногенных воздействий. Аномально высокое содержание тяжелых металлов (медь, цинк, свинец, хром, мышьяк, марганец) устанавливается повсеместно, как в промышленных зонах, так и в жилых кварталах. Весьма опасным является загрязнение городской почвы нефтью и нефтепродуктами в результате работы автотранспорта, автозаправочных станций, нефтехранилищ, количество которых растет из года в год.

Конституция Российской Федерации закрепляет право каждого на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью или имуществу и окружающей природной среде в процессе пользования природными ресурсами. Ныне действующий Федеральный закон «Об охране окружающей среды» (от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ) охватывает все стороны взаимоотношений в цепочке «человек-общество-природа». Земля и другие природные ресурсы используются и охраняются в нашей стране как основа жизни и деятельности народов, проживающих на данной территории, и могут находиться в частной, государственной, муниципальной и иных формах собственности. Разнообразие форм собственности на природные ресурсы определяет необходимость создания многочисленных нормативных правовых актов, регулирующих взаимоотношения общества и природы.

В структуру органов государственного управления природоохранной деятельностью в России входят:

1. Министерство природных ресурсов Российской Федерации.
2. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации.
3. Государственный комитет Российской Федерации по рыболовству.
4. Федеральная служба геодезии и картографии России.
5. Федеральная служба земельного кадастра России.
6. Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.
7. Федеральный горный и промышленный надзор России.
8. Федеральный надзор России по ядерной и радиационной безопасности.

Органы государственной власти Российской Федерации в сфере отношений, связанных с природопользованием и охраной окружающей среды, обладают такими полномочиями, как:

- обеспечение проведения федеральной политики в области экологического развития РФ;
- разработка и издание федеральных законов, федеральных программ и иных нормативных правовых актов в области охраны окружающей среды и контроль за их применением;
- установление порядка определения размеров платы за выбросы и сбросы загрязняющих веществ, размещение отходов и другие виды негативного воздействия на окружающую среду;
- организация и проведение государственного мониторинга окружающей среды и экологической экспертизы;
- экономическая оценка природных и природно-антропогенных объектов и воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду;
- установление порядка лицензирования отдельных видов деятельности в области охраны окружающей среды и его осуществление;
- международное сотрудничество РФ в области охраны окружающей среды и пр.

Объектами охраны окружающей среды в соответствии со ст.4 Закона являются: земли, недра, почвы; поверхностные и подземные воды; леса и иная растительность, животные и другие организмы и их генетический фонд; атмосферный воздух, озоновый слой атмосферы и околоземное космическое пространство.

Законодательными актами, регулирующими использование и охрану земельных ресурсов в Российской Федерации, являются

Земельный кодекс Российской Федерации и Федеральный закон «О плате за землю».

Новый Земельный кодекс Российской Федерации был принят Государственной думой 20 сентября 2001 г., подписан Президентом РФ 25 октября 2001 г. (№ 136-ФЗ) и включает в себя 18 глав, посвященных правовому регулированию различных аспектов земельных отношений.

Согласно ст.7 Кодекса земли в Российской Федерации по целевому назначению подразделяются на семь категорий (в скобках приводятся данные о площади этих земель в РФ):

- 1) земли сельскохозяйственного назначения (25,7%);
- 2) земли поселений (1,1%);
- 3) земли промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, земли для обеспечения космической деятельности, земли обороны, безопасности и земли иного специального назначения (1,0%);
- 4) земли особо охраняемых территорий и объектов (1,9%);
- 5) земли лесного фонда (62,0%);
- 6) земли водного фонда (1,6%);
- 7) земли запаса (6,7%).

Для достижения целей охраны земель собственники земельных участков, землепользователи, землевладельцы и арендаторы земельных участков обязаны проводить мероприятия по:

- сохранению почв и их плодородия;
- защите земель от водной и ветровой эрозии, селей, подтопления, заболачивания, вторичного засоления, иссушения, уплотнения, загрязнения радиоактивными и химическими веществами, захламления отходами производства и потребления, загрязнения, в т.ч. биогенного, а также других негативных воздействий, в результате которых происходит деградация земель;
- защите сельскохозяйственных угодий и других земель от заражения бактериально-паразитическими и карантинными вредителями и болезнями растений, зарастания сорными растениями, кустарниками и мелколесьем, иных видов ухудшения состояния земель;
- ликвидации последствий загрязнения, в том числе биогенного, и захламления земель;
- сохранению достигнутого уровня мелиорации;
- рекультивации нарушенных земель, восстановлению плодородия почв, своевременному вовлечению земель в оборот;

- сохранению плодородия почв и их использованию при проведении работ, связанных с нарушением земель при проведении строительных работ и работ по добыче полезных ископаемых, связанных с нарушением почвенного слоя, плодородный слой почвы снимается и используется для улучшения малопродуктивных земель.

Предоставление недр в пользование оформляется специальным государственным разрешением в виде лицензии.

Нарушение земель и ландшафтов происходит при вскрытии месторождения полезных ископаемых (МПИ); эксплуатации МПИ открытым, подземным или геотехнологическими способами; размещении отходов добычи и переработки полезных ископаемых и т.п. Меняется и степень нарушения существующих нарушенных земель.

В зависимости от вида и степени нарушения, срок естественного восстановления природного качества земель колеблется от 15 до 100 и более лет. Следовательно, полагаться на естественное восстановление природного качества земель экономически нецелесообразно из-за длительных сроков, что связано с большими потерями от неиспользования их в хозяйственном обороте. Поэтому необходимо сочетать механические и биологические методы рекультивации таких земель до полного восстановления их природного качества и ввода в хозяйственный оборот.

В Законе «Об отходах производства и потребления» от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ для сохранения земельных ресурсов и рационального природопользования сформулированы основные принципы государственной политики в области обращения с отходами:

- охрана здоровья человека, поддержание или восстановление благоприятного состояния окружающей природной среды и сохранение биологического разнообразия;
- научно обоснованное сочетание экологических и экономических интересов общества в целях обеспечения устойчивого развития общества;
- использование новейших научно-технических достижений в целях реализации мало- и безотходных технологий;
- комплексная переработка материально-сырьевых ресурсов в целях уменьшения количества отходов;
- использование методов экономического регулирования деятельности в области обращения с отходами в целях уменьшения количества отходов и вовлечения их в хозяйственный оборот;



- доступ в соответствии с законодательством Российской Федерации к информации в области обращения с отходами;
- участие в международном сотрудничестве Российской Федерации в области обращения с отходами.

Район г. Магнитогорска является территорией наиболее интенсивного проявления негативных процессов (как по площади, так и во времени), которые вызваны антропогенной деятельностью.

Для снижения деградации земель необходимы разработки проектов по рациональному использованию и совершенствованию системы землепользования, созданию сбалансированных высокопродуктивных и устойчивых геосистем, адаптированных к местным природно-климатическим условиям.

### **Литература**

1. Табаксблат Л.С. Основы почвоведения и геоэкологии ландшафта: курс лекций. Екатеринбург: УГГГА, 2002.
2. Боброва З.М., Ильина О.Ю. Природоохранная деятельность предприятий: учеб. пособие. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. 57 с.
3. Боброва З.М., Ильина О.Ю., Зуева Т.Ю. Нормативно-правовые аспекты в сфере охраны окружающей среды // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. Вып.12. С.136–141.
4. Боброва З.М., Ильина О.Ю. Правовые инструменты охраны окружающей среды // Уральский регион Республики Башкортостан: человек, природа, общество: материалы регион. науч.-практич. конф. В 2-х ч. Ч.II. Сибай: Изд-во ГУП РБ «СГТ», 2012. С.43–48.

---

---

## Раздел 7

### ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ В ПОДГОТОВКЕ КАДРОВ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

УДК 37

**Л.В. Орнина**

Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

#### СОЗДАНИЕ СОЦИОКУЛЬТУРНОЙ СРЕДЫ УНИВЕРСИТЕТА КАК ФАКТОРА ФОРМИРОВАНИЯ ГРАЖДАНСКОЙ ТОЛЕРАНТНОСТИ СТУДЕНТОВ

В условиях современной России все большую актуальность приобретают вопросы, связанные с созданием образовательной среды университета, удовлетворяющей всем требованиям новых стандартов и развитию общекультурных компетенций. Одной из важных составляющих образовательной среды университета является социокультурное пространство, включающее в себя такие компоненты, как творческое мышление, культурологическую и гражданскую компетентность, толерантное мировоззрение, навыки межкультурной коммуникации, высокий профессионализм, адаптивность и стрессоустойчивость к постоянно меняющимся условиям жизни.

Включение студента вуза в социокультурное пространство связано с его участием в общекультурной и воспитательной жизни университета, а также в органах студенческого самоуправления, таких как студенческие отряды, профсоюзные организации, совет культуртов и объединенный совет студенческих общежитий, студенческий пресс-центр, студенческие поисковые отряды и многие другие. Все это, в свою очередь, повышает у студента общий культурный уровень, развивает гибкость мышления, улучшает навыки коммуникации, в том числе навыки установления межэтнических контактов, а также способствует профилактике их включения в девиантную среду.

Однако, рассматривая феномен социокультурной среды, необходимо говорить о системе подходов к созданию эффективного социокультурного пространства университета.

### **Системный подход как теоретическая основа формирования гражданской компетенции**

Системный подход при формировании социокультурной среды студентов выступает как совокупность следующих характеристик:

- теоретический принцип изучения проблемы;
- комплексный способ изучения и организации процесса воспитания;
- процессуальная целостность, отражающая взаимосвязь принципов, методов и знаний о них.

Ценность системного подхода как принципа изучения и организации процесса формирования социокультурной среды в вузе состоит в следующем:

- на его основе сформировать у учащихся системность знаний толерантности, социокультурного менталитета;
- придать системный характер процессу воспитания и формированию системы компетенции;
- развить системное мышление у выпускников вуза;
- сформировать системную картину мира, общественной жизни и системы отношений;
- системно-исторически подойти к изучению и формированию у студентов феномена социокультурной среды университета.

### **Аксиологический подход**

Процесс формирования социокультурной среды вуза связан с присвоением норм и правил поведения и отношения. В этом смысле он является частью нравственного воспитания учащихся. Формирование нравственного сознания связано с принятием таких ценностей, как патриотизм, дружба, взаимопомощь, мужество, любовь к свободе, ответственность, гуманизм, честь, достоинство, обязательность, добро, милосердие, порядочность. Проблема ценностей и ценностных ориентиров остро встала с развитием индустриального общества, формированием централизованных государств с однородным национальным составом и становлением правовой системы отношений. В этом отношении значимость при-

---

ведённых ценностей для формирования социокультурной среды университета состоит в том, что они позволяют:

- регулировать отношения личности учащегося к другим людям, обществу, государству, своим правам и обязанностям;
- сформировать нравственный идеал студента, позволяющий личности проектировать своё личностное развитие;
- развить духовный потенциал личности, включая такие качества, как порядочность, обязательность, честность, гуманизм, уважительное отношение к другим людям.

### **Личностно-ориентированный подход**

Формирование нравственных отношений как основа формирования гражданской компетенции связано с формированием статуса личности студента, его позицией и положением в коллективе.

В основе личностно-ориентированного подхода лежит прежде всего уважение или гуманное отношение к людям. Однако, наряду с уважением, на формирование личностной позиции учащегося влияют и толерантность, и милосердие, и ответственность, и доброжелательность, и твёрдая вера в лучшее будущее своей страны, равно как и преданное служение её интересам.

На наш взгляд, значимость личностно-ориентированного подхода для формирования гражданской компетенции студентов состоит в том, что данный подход позволяет:

- осознать своё «Я», свою значимость среди других студентов и в социуме вообще;
- уважая себя, проявлять гуманное отношение к другим людям, в том числе к людям других наций и этносов, с опорой на толерантность и сопереживание;
- твёрдо отстаивать свои права и свободы;
- осознавать свои творческие возможности, внедряя их в практические действия.

### **Информационно-коммуникативный подход**

Процесс формирования социокультурной среды в вузе выступает как процессуальная система, а вместе с этим и как информационно-коммуникативный процесс.

В современном понимании информация трактуется как сохранение, переработка и передача сведений (содержания). Коммуникация же выступает как процессуальное средство передачи информации, в форме общения, установления связи. Следова-

тельно, речь идёт о закономерностях процесса обработки и преобразования информации, её передачи и распределения.

Востребованность информации, характер её потоков в средствах массовой коммуникации свидетельствуют об интенсивности педагогического процесса, в том числе и формирования социокультурной среды вуза. Но в современных условиях эффективность педагогического процесса воспитания личности зависит не только от содержания, но и от информационных технологий и коммуникации. Технология формирования социокультурной среды вуза, таким образом, включает в себя следующие компоненты:

- совокупность знаний (терминальные ценности системного характера);
- совокупность приёмов (инструментальные ценности, представляющие систему средств, в том числе умений и навыков);
- информацию (о состоянии процессуальной системы и характере взаимодействия её составных компонентов);
- правила (нравственные правила и правовые нормы);
- принципы (организация процесса и его изучение).

Информационно-коммуникативный процесс как процесс воспитания включает в себя:

- информационное пространство;
- коммуникативную сферу, включающую не только учебный процесс, но и систему дополнительного образования, электронную систему коммуникации;
- познавательную ситуацию, связанную с ценностными ориентациями и потребностями личности;
- статусное отношение к образовательному процессу и системе дополнительного образования;
- отношение личности к образовательным ценностям;
- оценочная информация, дающая суждения о результатах процесса формирования социокультурной среды.

Таким образом, процесс формирования социокультурной среды должен основываться, в том числе, и на информационно-коммуникативном подходе как принципе, который выполняет важные функции:

- информационную, связанную с отбором и передачей учащимся терминальных, инструментальных и нравственных ценностей;

---

– коммуникативную, включающую выбор средств для передачи ценностной информации.

### **Историко-культурологический подход**

Сущность исторического подхода в рамках социокультурной среды университета заключается в том, что мы подходим к процессу формирования социокультурной среды через призму современного поликультурного образовательного пространства и включённости в данное пространство студентов университета.

Необходимо также учитывать, что поликультурное образовательное пространство включает в себя такие понятия, как социокультурный фон студента, его социокультурное окружение, межкультурную и культурологическую компетенцию, его включённость в современный диалог культур. При этом мы оцениваем, как конкретные исторические события каждого выделенного нами периода повлияли на формирование социокультурной среды в университете.

В качестве основных достоинств использования данного подхода в нашем исследовании мы определили следующие:

- благодаря использованию данного подхода мы можем говорить о процессе формирования социокультурной среды вуза более глубоко и осмысленно, с точки зрения не только истории, но и литературы, культуры, культурологии, реализуя, таким образом, поликультурную направленность процесса формирования социокультурной среды университета;

- используя данный подход, мы можем напрямую говорить о воспитании у студенческой молодёжи патриотических чувств, которые не могут быть привиты без знания истории и развития к ней постоянного интереса со стороны студентов;

- посредством использования данного подхода реализуется процесс приобщения студентов к культурным ценностям мира и родной страны;

- за счёт использования данного подхода реализуется процесс включённости студентов в современное поликультурное образовательное пространство.

### **Компетентностный подход**

Компетентностный подход является одним из центральных подходов, используемых в нашей классификации, так как он соответствует одному из базовых понятий нашего исследования. Результатом обобщения позиций стало следующее определение

компетенции – это общая способность, основанная не только на знаниях, опыте, ценностях и склонностях, которые приобретают обучающиеся в процессе обучения, но и на коммуникативных и социокультурных способностях студентов, формирующих интерес не только к родной культуре, но и к другим национальным культурам разных стран. Методологическим основанием реализации компетентностного подхода в профессиональном образовании выступают принципы: вариативности образования; центрации образования на развитии и саморазвитии личности; сочетания автономности с коллективными и групповыми формами образования; неустойчивого динамического равновесия образовательного процесса как источника развития взаимосвязи личности, образования и профессии; со-развития личности, образования и деятельности.

*В культурологической концепции формирования культуры профессиональной деятельности будущего специалиста на основе компетентностного подхода представлены следующие принципы:*

- культурологический выбор и самоопределение в культуре, который предполагает развитие механизмов профессионального самоопределения в специально организованных условиях образовательного процесса колледжа;
- субъектность – внутреннее самодвижение активности, способность личности свободно определять себя по отношению к целостному ходу жизни;
- преобразование имеющихся и выработка личностно-профессиональных смысловых ориентиров–выражение представления об изменениях в ценностном сознании студента как закономерных результатах дидактики жизни человека, перестройки его взаимоотношений с миром;
- рефлексия – переосмысление личностью в процессе последствия старых и создание новых образцов культуры профессиональной деятельности, снятие затруднений и оценки мыслительных операций.

Свойствами культуры профессиональной деятельности, по мнению автора, выступают: интегративность, социальность, регулятивность, персонализация, непрерывность. В процессе профессионального и личностного развития будущего специалиста они выполняют адаптационную (приспособление к профессиональной среде), гностическую (систематизация профессиональных знаний, норм, ценностей, осознание себя субъектом этой деятельности), информативную (передача профессионального опыта) и регуля-

---

тивную (система норм, правил, требований, предъявляемых к специалисту) функции. Личность компетентного специалиста, способного к культуросообразному осуществлению профессиональной деятельности представляется в его внутренней целостности, где профессиональное и личностное «Я» тесно связаны системой ценностей. Он выступает как человек, ориентированный на выполнение определенных социально-профессиональных функций, как профессионал во всем своеобразии своих возможностей и способностей.

### Литература

1. Воспитательная деятельность со студентами вуза: учеб.-метод. пособие. СПб.: Изд-во «Центр информатизации образования «КИО», 2007.
2. Нормативно-правовые аспекты регулирования внеучебной и воспитательной работы университета. Челябинск, 2006.
3. Орнина Л.В. Социокультурные и психолого-педагогические особенности организации воспитательной работы со студентами технического университета в условиях непрерывного образования // Литейные процессы: межрегион. сб. науч. трудов / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. С. 316-321.

УДК 378.147

**Н.А. Бахольская, Д.А. Телегенова**

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

### **К ВОПРОСУ О РОЛИ ИНТЕРАКТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ ХИМИЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ СТУДЕНТОВ ИНСТИТУТА МЕТАЛЛУРГИИ, МАШИНОСТРОЕНИЯ И МАТЕРИАЛООБРАБОТКИ МГТУ**

Система образования в настоящее время переживает этап реформирования, связанный с изменением содержания, поиском оптимальных способов и технологий обучения, способных удовлетворить возрастающие требования личности и государства. Назрела потребность в разработке новой модели выпускника вуза,



акцентирующей внимание на приобретении опыта самостоятельной деятельности, формирования готовности к дальнейшему обучению и социальной адаптации.

Главными задачами модернизации современного высшего образования являются:

- ориентация на развитие личности, ее творческой активности, на повышение уровня профессиональной и интеллектуальной образованности;

- отказ от стереотипов, развитие творческой деятельности студентов по использованию приобретенных знаний в нестандартных ситуациях;

- формирование культурно развитой, духовно творческой личности, готовности к жизнедеятельности в постоянно изменяющихся условиях, к дальнейшему самообразованию.

Новое качество образования требует и новых подходов к обучению, среди которых основное место в настоящее время отводится компетентностному подходу.

Идеи компетентностного подхода как принципа образования рассматриваются в работах А.М.Аронова, А.В.Баранникова, А.Г.Бермуса, В.А.Болотова, И.А.Зимней, Г.Б. Голуба, В.В. Краевского, О.Е.Лебедева, М.В. Рыжакова, Ю.Г.Татура, Л.О. Филатовой, И.Д.Фрумина, А.В.Хуторского, О. В. Чураковой, М.А., Чошанова, П.Г.Щедровицкого и многих других исследователей.

Остановимся подробнее на основных идеях компетентностного подхода:

- компетентностный подход возник из потребности в адаптации человека к часто меняющимся в производстве технологиям. Компетенция – это способность менять в себе то, что должно измениться как ответ на вызов определенной ситуации с сохранением некоторого ядра образования: целостное мировоззрение, ценности;

- компетентность объединяет в себе интеллектуальную, мотивационную, этическую, социальную и навыковую составляющую образования; результаты обучения (знания и умения), систему ценностных ориентаций, привычки и др.;

- компетентность означает способность мобилизовать полученные знания, умения, опыт и способы поведения в условиях конкретной ситуации, конкретной деятельности;

- 
- компетентности формируются не только в процессе обучения, но и под воздействием окружающей среды, то есть в рамках формального, неформального и вне формального образования;
  - понятие «компетенции» является понятием процессуальным, т.е. компетенции как проявляются, так и формируются в деятельности;
  - компетенция описывает потенциал, который проявляется ситуативно и может лечь в основу оценки лишь отсроченных результатов обучения;
  - компетентностный подход рассматривает образование и образованность как умение решать проблемы, независимо от их сложности, опираясь на имеющиеся знания. Это подход, акцентирующий внимание на результате образования, причем в качестве результата рассматривается не усвоение суммы информации (сведений), а способность человека самостоятельно действовать в различных проблемных ситуациях, применяя знания и порождая новые;
  - смена образовательных подходов выступает как закономерное восхождение к более целостному пониманию самого феномена образованности, в структуру которого теперь должны войти не только «знаниевый», деятельностный и творческий опыт, но и опыт собственно духовно-личностной самоорганизации человека, связанный с выполнением им рефлексивных, самооценочных, жизненно-планирующих и других функций. Система педагогических идей, принципов и технологий, рассматривающая последнее в качестве специальной сферы образовательного процесса, и образует концепцию компетентностного подхода в образовании;
  - компетентностный подход предполагает овладение знаниями и умениями в комплексе. При компетентностном подходе образовательный процесс становится исследовательским и практико-ориентированным, то есть сам становится предметом усвоения;
  - задача системы образования всегда состояла в формировании у подрастающего поколения тех знаний, поведенческих моделей, ценностей, которые позволят ему быть успешным вне стен школы. В современной экономике конкурентоспособность человека на рынке труда во многом зависит от его способности овладевать новыми технологиями, адаптироваться к изменяющимся условиям труда, ориентироваться в гигантских информационных потоках. Идея компетентностно-ориентированного образо-

вания стала ответом системы образования на новые запросы мира труда.

Таким образом, компетентностный подход – это подход, реализующий деятельностный характер образования, при котором учебный процесс ориентируется на практические результаты. При этом не происходит и отрицания знаний, которые нужны как основа деятельности. Поэтому в теории обучения и воспитания появилось понятие «компетентность», которое означает способность мобилизовать полученные знания, умения, опыт и способы поведения в условиях конкретной ситуации, конкретной деятельности.

Следует отметить, что предметом запроса работодателей к системе высшего технического образования является конкретный набор ключевых компетентностей, который может варьироваться в зависимости от социально-экономической ситуации в том или ином регионе. В связи с этим особую актуальность приобретают проблемы качества образования, связанные с формированием у студентов Института металлургии, машиностроения и материалообработки МГТУ ключевых профессиональных компетентностей, в частности химической.

Химическая компетентность студента должна представлять собой владение совокупностью взаимосвязанных смысловых ориентаций, знаний умений, навыков и опыта в его деятельности. Она включает в себя химически грамотное обращение специалиста с веществами, материалами и процессами, безопасное как для собственной жизни, так и для нормального, естественного функционирования окружающей среды. Без химической компетентности невозможно формирование компетенции здоровьесбережения студентов: знание и соблюдение здорового образа жизни, правил личной гигиены, понимание опасности курения, алкоголизма, наркомании.

На основании анализа возможностей химии как учебного предмета можно предположить, что компетентностный подход в обучении химии студентов Института металлургии, машиностроения и материалообработки должен быть направлен на то, чтобы научить их:

- анализировать ситуации практического характера, распознавать в них знакомые химические явления и применять знания для их объяснения;

- решать задачи и распознавать проблемы, которые можно решить при помощи химических методов, уметь разрешать про-

---

блему как на основе имеющихся знаний с использованием математического аппарата, так и при недостатке необходимого материала с помощью методов оценки, на качественном уровне или на основе здравого смысла;

- навыкам эффективного поиска информации, понимания химического содержания информации научно-популярного характера в СМИ, умению критически ее оценивать, приемам достоверности информации, использования полученной информации для принятия решений практического характера.

Применительно к химии предметная компетентность студентов включает следующие знания, умения и навыки:

1) понятие о химии как неотъемлемой составляющей естественно-научной картины мира; химия – центральная наука о природе, тесно взаимосвязанная с другими естественными науками;

2) представление о том, что окружающий мир состоит из веществ, которые характеризуются определенной структурой и способны к взаимным превращениям; существует связь между структурой, свойствами и применением веществ;

3) химическое мышление, умение анализировать явления окружающего мира в химических терминах, способность говорить и думать на химическом языке;

4) понимание роли химии в повседневной жизни и прикладного значения химии в жизни общества, а также в решении глобальных проблем человечества: продовольственной, энергетической, экологической и др.;

5) практические навыки безопасного обращения с веществами, материалами и химическими процессами в повседневной жизни, а также умение управлять химическими процессами.

Успешное формирование предметной химической компетентности студентов в немалой степени зависит от компетентности информационной, под которой понимается владение информационными технологиями, умение работать со всеми источниками и видами информации. Химическое образование предполагает также усиление самостоятельного поиска химической информации, анализа ее и представление выводов или рекомендаций, сделанных на основе этого анализа. Источниками такой информации могут быть средства массовой информации, различная литература (научная, научно-популярная, справочная и т.д.), Интернет.

Поиск, анализ, переработка и представление химической информации студентам позволяют совершенствовать у них такую важную и социально значимую компетентность, как коммуника-

тивная. Это происходит во время защиты рефератов, проектов, дискуссии, «круглых столов», научно-исследовательских работ, так как они основаны на умении доказательно выступать перед аудиторией, отстаивать свою точку зрения или соглашаться с чужой, находить консенсус в споре, чувствовать себя комфортно в паре, группе или коллективе и не создавать дискомфорта для окружающих.

Химическая компетентность студента Института металлургии, машиностроения и материалообработки, в частности будущего учителя химии, подразумевает обладание соответствующими специальными общехимическими и частно-химическими (в области органической, неорганической, физической, биологической, коллоидной, аналитической химии) компетенциями, формируемыми при обучении отдельным химическим дисциплинам и реализуемыми в лично- и социально значимом опыте.

Для формирования химической компетентности студентов в настоящее время разрабатываются новые системы и стратегии обучения, одной из которых является интерактивное обучение химическим дисциплинам.

Термины «интерактивность», «интерактивный» получили распространение при описании различных способов взаимодействия человека и информационной среды или ее отдельных элементов (интерактивное телевидение, интерактивное голосование, интерактивная обучающая программа). Но в последние десятилетия эти термины все чаще используются в некомпьютерном обучении, подчеркивая необходимость активного взаимодействия и общения субъектов образовательного процесса. В более широком смысле интерактивность в обучении предполагает взаимодействие любых субъектов процесса обучения друг с другом с использованием доступных им средств и методов. Интерактивное обучение рассматривается как «обучение, погруженное в общение», что предполагает диалоговое, полилоговое обучение, вовлечение студента в обучение в качестве активного участника, а не слушателя и наблюдателя.

Среди интерактивных методов и форм обучения студентов наиболее часто называют различные игры – деловые, ролевые, имитационные, а также тренинги, учебные дискуссии, case-study, метод проектов, программированное обучение, консультирование, работу в малых группах, наставничество.

Безусловно, интерактивное обучение химическим дисциплинам не может моделировать все виды связанной с химией деятельности в области химического, естественно-научного образования и химического производства, в которых участвует или будет участвовать студент. Однако оно способствует формированию химической компетентности у студентов в целом.

Успех и эффективность интерактивного обучения в формировании химической компетентности студентов определяется комплексом объективных (социально-экономических, правовых, материально-технических и др.) и субъективных (обусловленных личностными особенностями субъектов, в частности готовностью преподавателей вуза к интерактивному обучению химическим дисциплинам) факторов. Действенность формирования химической компетентности студентов в современной высшей школе может быть обеспечена посредством организации образовательной среды химического образования университета и учета особенностей индивидуальной образовательной среды самих студентов.

Обучение химическим дисциплинам на основе методологии компетентностного подхода открывает широкие возможности для формирования химической компетентности будущих специалистов, для приобретения ими опыта связанной с химией деятельности и для качественной подготовки студентов к профессиональной деятельности.

### Литература

1. К вопросу о компетентностном подходе в российском образовании / Карпенко О.М., Лукьяненко О.И., Денисович Л.И., Бершадская М.Д. // *Инновации в образовании*. 2004. № 6. С. 5–13.
2. Зимняя И.А. Ключевые компетенции – новая парадигма результата образования // *Высшее образование сегодня*. 2003. № 5. С. 34–42.
3. Хуторской А.В. Ключевые компетенции и образовательные стандарты // *Интернет-журнал «Эйдос»*. 2002. 23 апреля [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.eidos.ru/journal/2002/04-23.htm>.
4. Филатова Л.О. Компетентностный подход к построению содержания обучения как фактор развития преемственности школьного и вузовского образования // *Дополнительное образование*. 2005. №7. С.9–11.

5. Козырев В.А. Гуманитарная образовательная среда педагогического университета: сущность, модель, проектирование. СПб., 2004. С. 250–256.
6. Кларин М.В. Интерактивное обучение – инструмент освоения нового опыта // Педагогика. 2000. № 7. С. 12–18.

УДК 37.013.177

**И.В. Кашуба**

Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

**К.Е. Сысоева**

МОУ СОШ, п. Ржавка

### **КРЕАТИВНОСТЬ КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ СОЦИАЛИЗАЦИИ УЧАЩИХСЯ**

Тенденции общественного развития в нашей стране сегодня таковы, что, наряду с позитивными демократическими изменениями, в кризисном состоянии пребывают материальная и духовная сферы жизни. Особые социальные и психологические трудности испытывает личность, формирующаяся в данных условиях – сегодняшний школьник. В связи со снижением благосостояния значительной части населения, ослаблением защищённости семьи и детей со стороны государства, в связи со сменой идеалов и ценностей, семья, нередко вынужденная заниматься лишь решением насущных экономических вопросов, в большинстве своём, не в состоянии полноценно выполнять социализирующую и воспитательную функции. Мы разделяем точку зрения многих педагогов, считающих, что от СМИ сегодня скорее необходимо уберегать школьника, чем уповать на их помощь. Остаётся школа как основное общедоступное образовательное учреждение, в котором дети проводят значительную часть времени.

Способность к осознанию, переосмыслению и преобразованию своего прошлого опыта необходима человеку при любых социально-экономических условиях. Креативность, как способность к творчеству, может рассматриваться как фактор гармоничного раз-

---

---

вития и успешной социализации конкретного человека, и вместе с тем основным источником социально-экономического (поступательного) развития истории, культуры и цивилизации в целом. Однако активизация внимания к вопросам творчества особенно важна в переломные, переходные моменты истории, что характеризует и современную социокультурную ситуацию в нашей стране, так как только творческий человек способен осуществлять ответственный социальный выбор, принимать эффективные решения в условиях неопределённости и кардинальных преобразований, преодолевать кризисные ситуации и всевозможные трудности.

Социализация представляет собой процесс становления личности, постепенное усвоение требований общества, приобретение социально значимых характеристик сознания и поведения, которые регулируют ее взаимоотношения с обществом. Школа выступает для ребенка первой и основной моделью социального мира. Одной из важнейших социально-психологических задач школы является построение своей собственной позиции, развитие способности мыслить.

В процессе социализации личности задействованы различные социальные институты (семья, школа, учреждения дополнительного образования и т.д.). Общеобразовательная школа стала в 21 веке одним из важнейших социальных институтов общества, своеобразной отраслью общественного воспроизводства, оказывающей мощное воздействие на всю жизнь социума. Необходимо помнить и то, что учитель должен уделить особое внимание развитию креативности школьников. Если творческие способности развиты, подростки смогут свободно мыслить, развивать идеи, следовательно – принимать эффективные решения, осуществить ответственный социальный выбор, стоящий перед ними, а именно выбор будущей профессии и др. Если же творчество не станет ценностной ориентацией в юношеский период, то существует вероятность, что оно не будет сформировано и в будущем. Следовательно, не поддерживав в этом возрасте развитие личностного творческого потенциала, мы обрекаем личность на большие трудности.

Креативность является научно установленной категорией в психологической науке. Основная задача психологии творчества состоит в раскрытии психических закономерностей и механизмов творческого процесса и креативности (творчесткости). Психологи при характеристике креативности указывают на проблему способ-



ностей и чаще всего креативность рассматривают как общую творческую способность, процесс преобразования знаний, утверждая, что креативность связана с развитием воображения, фантазии, порождением гипотез (Л.С. Выготский, В.В. Давыдов, Я.А. Пономарев, А.Г. Шмелев). Среди предпосылок и оснований, характерных для проявления креативности, отечественные психологи выделяют перцептивные особенности личности, обладающие творческим потенциалом, которые выражаются в необыкновенной напряженности внимания, огромной впечатлительности, восприимчивости. К числу интеллектуальных проявлений относят воображение, обширность знаний. Среди характерологических особенностей подчеркивают уклонение от шаблона, оригинальность, инициативность, упорство, высокую самоорганизацию, работоспособность.

Изучение креативности за рубежом ведется в основном в двух направлениях. Одно связано с вопросом о том, зависит ли креативность от интеллекта, и ориентируется на измерение познавательных процессов в связи с креативностью. Другое направление занимается выяснением того, является ли личность с ее психологическими особенностями существенным аспектом креативности, и характеризуется вниманием к личностным и мотивационным чертам.

Попытки определить креативность посредством познавательных переменных направлены на оценку необычных интеллектуальных факторов и познавательных стилей. Выделены гипотетические интеллектуальные способности, характеризующие креативность:

- беглость мысли (количество идей, возникающих в единицу времени);
- гибкость мысли (способность переключаться с одной идеи на другую);
- оригинальность (способность производить идеи, отличающиеся от общепризнанных взглядов);
- любознательность (чувствительность к проблемам в окружающем мире);
- способность к разработке гипотезы;
- иррелевантность (логическая независимость реакции от стимула).

Эти факторы объединены под общим названием «дивергентное мышление», которое характеризуется способностью выдвигать множество в равной степени правильных идей при решении некоторой проблемы, нестандартностью самого мышления.

---

Креативность в той или иной степени присуща каждому человеку, а её проявлению препятствуют влияние среды, запреты, социальные шаблоны, следовательно, можно трактовать роль элементов образования, усиления акцента на самостоятельную работу обучаемых как весьма позитивный момент. И на этой основе развитие креативности у старшеклассников является путём освобождения творческого потенциала от тех «зажимов», которые они приобрели ранее. В подростковом возрасте креативность может закрепиться в структуре личности как устойчивая характеристика, сознательно реализуемая в процессе творчества и в единстве ведущих компонентов (операционального – интеллектуального и личностного), выражающаяся в постепенном поступательном развитии ее показателей на каждой стадии обучения.

Взаимодействие человека с обществом обозначается понятием «социализация», которое имеет междисциплинарный статус и широко используется в педагогике. Однако его содержание не является стабильным и однозначным. Сущностный смысл социализации раскрывается на пересечении таких ее процессов, как адаптация, интеграция, саморазвитие и самореализация. Диалектическое их единство обеспечивает оптимальное развитие личности на протяжении всей жизни человека во взаимодействии с окружающей средой.

Социализируясь, старшеклассник развивает мировоззрение, самосознание, отношение к действительности, характер, личностные и коммуникативные качества, психические процессы, накапливает социально-психологический опыт, приобретает самостоятельность, уверенность в себе, устойчивость к стрессам и т.п.

Социализация осуществляется в различных ситуациях, возникающих в результате взаимодействия множества обстоятельств. Именно совокупное влияние этих обстоятельств на человека требует от него определенного поведения и активности. Факторами социализации и называют такие обстоятельства, при которых создаются условия для протекания процессов социализации. Одним из основных институтов социализации подростков является школа. Роль школы как канала социализации не сводится только к передаче знаний, умений и навыков подросткам, она развивает личностные качества, мышление, открывает новые горизонты познания мира, обеспечивающие ему переход во взрослую жизнь. Важно осознание подростком целевой установки при изучении предметов, а именно

помощь в подготовке к взрослой жизни, более реальному взгляду на мир, научение оценивать различную обстановку и жизненные ситуации, свои возможности и делать правильный выбор.

Социализация школьника, лежащая в основе формирования его личности, характеризуется как процесс активного его включения в систему разнообразных общественных отношений, которые могут проявляться в нескольких взаимосвязанных ипостасях:

1. Идентификация – процесс вхождения в реальную деятельность, выражающийся в отождествлении с другими людьми и включении в отношения с ними.
2. Индивидуализация – процесс саморазвития в реальной деятельности, проявляющийся в приобретении отличительных свойств и способностей, активном включении во взаимодействие и сотрудничество с другими на основе общих интересов, целей и приобретаемых качественных свойств.
3. Персонализация – процесс самореализации в реальной творческой деятельности, в целостности многообразия приобретенных качественных свойств и способностей.

Для обеспечения эффективности образовательного процесса необходимо использовать: все виды организации учебных занятий (в том числе с использованием компьютерных технологий); все виды учебной деятельности учащихся (включая игровую, практическую, проектную, исследовательскую, поисковую, в том числе во внеурочное время); оптимальные средства и методы оценки качества образовательного процесса (для текущего управления процессом) и уровня подготовленности выпускников (для оценки результативности знаний, умений и навыков).

Важным составляющим компонентом всесторонней подготовки школьников является воспитание у них творческого характера мышления, формирование умения мобильно использовать знания при изучении школьных дисциплин. Одним из принципов обучения является принцип сознательности и активности учащихся в обучении. Человек только тогда сможет успешно действовать в различных жизненных ситуациях, при выполнении сложных жизненных задач, когда его знания, навыки и умения, приобретаемые на занятиях по дисциплинам, способствуют развитию мышления и креативности, а следовательно, и социализации.

---

УДК 316.614.6-057.875

**Е.П. Григорьева, Н.В. Балакина**

Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

### **ОТДЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ СОЦИАЛИЗАЦИИ ЛИЧНОСТИ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА**

Проблема развития личности остается актуальной, так как личность понимается как активно развивающийся социальный субъект. Термин «социализация» не имеет однозначного определения. В психолого-педагогической литературе рассматриваются еще два понятия, которые рекомендуется употреблять как синонимы процесса социализации – это воспитание и развитие личности. Неоднозначно стоит вопрос о соотношении процессов «социализация» и «воспитание». Если воспитание – это процесс целенаправленного воздействия на человека со стороны субъекта воспитательного процесса с целью передачи, накопления определенной системы понятий, норм и т.д., то актуальность состоит в целенаправленности, планомерности процесса воздействия. Если же «воспитание» рассматривается как воздействие на человека всей системы общественных связей с целью усвоения им социального опыта, то субъектом воспитательного процесса в этом случае может выступать все общество. Если употреблять термин «воспитание» в узком смысле слова, то социализация отличается по своему значению от процесса, описываемого термином «воспитание». Если же это понятие употреблять в широком смысле слова, то различие ликвидируется.

Итак, сущность социализации следует сформулировать следующим образом: социализация – это двусторонний процесс, включающий в себя, с одной стороны, усвоение индивидом социального опыта через вхождение в социальную среду, систему социальных связей. С другой стороны (часто недостаточно подчеркиваемой в исследованиях), процесс активного воспроизводства индивидом системы социальных связей за счет его активной деятельности, активного включения в социальную среду. Именно на эти две стороны процесса социализации обращают внимание многие исследователи. Вопрос ставится именно так, что человек не

просто усваивает социальный опыт, но и преобразовывает его в собственные ценности, установки, ориентации.

Реалии современного российского общества – процессы переосмысления базовых социальных ценностей, нарушение преемственности в передаче социально-культурного опыта, изменение правовых норм и правовой культуры молодых людей. Наиболее актуальны данные обстоятельства для процессов социализации в студенческой среде, где происходит трансформация как на уровне агентов социализации, так и самих социализирующихся. В условиях социальных преобразований в стране происходят изменения традиционных моделей социализации, характерных для стабильного общества. Существует мнение современных авторов, что наше общество в духовно-нравственном плане потеряло два поколения молодых людей. Эти потери заключаются в утрате традиционных семейных ценностей, отсутствии патриотизма и гражданской ответственности, увеличении количества детей с девиантным поведением, снижении деятельности таких традиционных агентов социализации молодежи, как семья и система образования, отсутствие эффективной государственной молодежной политики.

Хотелось бы остановиться на семейных традициях как на основе воспитания. В эпоху многократно ускорившегося ритма жизни многие семейные традиции ушли в прошлое. Люди стремятся к чему-то новому, пытаются избавиться от устаревших устоев (по их мнению), как от чего-то ненужного, потерявшего смысл. Многие семейные традиции видоизменились, произошел процесс слияния реалий современного российского общества с традициями других культур. Этот процесс влечет за собой негативные тенденции. Семейные традиции – естественный и очень мощный механизм передачи информации обучения жизненным стратегиям поведения. Проблемы гражданского, патриотического и нравственного воспитания молодежи по-прежнему остаются актуальными в обществе. На государственном уровне актуализирована программа по патриотическому воспитанию граждан РФ, которая эффективно реализуется, в том числе и на региональном уровне. Масштабно проводятся мероприятия патриотического и воспитательного характера, но тем не менее негативные тенденции нравственного воспитания молодежи по-прежнему имеют место быть.

Целью современного воспитания является развитие в российском обществе высокой социальной активности молодежи, гражданской ответственности, высокой духовности, формирование

---

способности проявлять эти качества в интересах страны и укрепления государства.

На современном этапе функционирования нашего общества достижение указанной цели решается через решение следующих задач:

- утверждение в обществе, в сознании молодого поколения социально значимых патриотических ценностей, уважения к историческому прошлому страны, к культурному наследию;
- создание и обеспечение реализации возможностей для полноценной социализации молодежи, более активного вовлечения их в решение социально-экономических, культурных, правовых, экологических и других проблем;
- воспитание молодого поколения в духе уважения к законности, нормам общественной и коллективной жизни, создание условий для обеспечения реализации конституционных прав человека и его обязанностей, гражданского, профессионального и воинского долга.

Следует прививать гражданам страны, в частности студентам технических специальностей, чувства глубокого уважения и почитания символов государства – Герба, Флага, Гимна РФ. Усиление патриотической направленности средств массовой информации при освещении событий общественной жизни страны, активное сопротивление антипатриотизму, формирование расовой, национальной, религиозной толерантности. Формирование жизнеспособного подрастающего молодого поколения с сформировавшимися убеждениями, физически здорового остается актуальной задачей общественной жизни по сей день. В соответствии с этим молодежь, в частности студенты вузов, выступают наиболее важным объектом национально-государственных интересов.

Студенты вуза – особенная социальная группа, как губка, впитывающая все окружающее, является индикатором времени. Важную роль в социализации студенческой молодежи выполняют перспективы совершенствования правового воспитания молодого поколения. Правовая социализация личности молодежи связана с тем, чтобы идеи, провозглашаемые законодательством, действовали на практике. Экономическая, политическая и правовая нестабильность системы привела к резкому социальному расслоению, обусловила кризис в правосознании общества и молодого поколения, привела к переосмыслению культурных ценностей предыдущих поколений, нарушению преемственности в передаче накоп-

ленного в обществе социокультурного опыта, в том числе и в сфере сознания и культуры граждан. Значительная часть населения оказалась не подготовленной к жизнедеятельности в новых условиях. Учитывая, что правовая культура молодежи находится на недостаточно высоком уровне, осознать происходящие в стране перемены сложно, а следовательно, адекватно отреагировать на них. Правовая социализация формирует навыки социального поведения, при этом должна возникать внутренняя мотивация, ориентирующая личность на их соблюдение. Усвоение норм социального поведения в детском возрасте, процесс взаимодействия с окружающим миром, социальные и нравственные запреты становятся началом этого процесса. Позднее правовая социализация принимает более конкретные очертания: становясь взрослым человеком, следует цивилизованно взаимодействовать с окружающим миром, выполнять требуемые обязанности перед обществом, становиться полноценным участником правоотношений и самостоятельно отстаивать свои права. Постепенно процесс правовой социализации личности превращает молодого человека в полноценного участника жизнедеятельности общественной жизни. Но в ходе социализации могут возникать искажения и деформации, которые могут привести к появлению у индивида криминальных наклонностей, асоциального поведения. Эти изменения, чаще всего, возникают в юношеский период, хронологически совпадающий с периодом обучения молодых людей в учебных заведениях высшего, среднего и среднего профессионального образования. Именно этот период является определяющим в рамках формирования правовой культуры личности, определяет ее отношение к принятым в обществе правовым нормам, а также готовность или неготовность их соблюдать.

Процесс усвоения молодым человеком социальных и правовых ценностей, на основе которых формируются осознанные позитивные социальные, правовые и психологические установки, определяется поведением индивида в социальном и правовом пространстве. Основу правовой социализации составляют:

- знание правовых норм и занятие определенной позиции по отношению к этим нормам;
- усвоение правовой идеологии как системного, научно обоснованного отражения правовой действительности в идеях, понятиях, принципах.

Учитывая, что средствами осуществления правовой социализации является правовое воспитание молодежи, знакомство с юридической литературой, законодательством, средствами массовой информации, к сожалению, часто принимаемая нормативно-правовая документация остается во многом декларативной. Так как часто отсутствуют механизмы ее реализации как на федеральном, так и региональном уровнях. Таким образом, даже относительно развитая законодательная основа не гарантирует, что процесс правовой социализации молодежи будет проходить эффективно. Анализируя мировоззрение молодого человека, влияние на него социальных факторов, следует выделить, то, что на процесс формирования правового сознания сильное влияние оказывают следующие социальные факторы: государственная молодежная политика, система обучения и воспитания, средства массовой информации, непосредственные условия жизни и работы. Следует учитывать, что социально-экономическая и политическая ситуация в обществе напрямую влияет на динамику доминирующих, в правовом сознании молодежи, взглядов. В соответствии с этим становится ясно, что радикальное воздействие на эту динамику в нужном для общества направлении возможно лишь в контексте позитивных изменений в общественном развитии. В ином случае правовое сознание молодежи может легко подвергаться деформации. Также следует акцентировать свое внимание на следующих проявлениях правовой несостоятельности молодого поколения: неисполнение законов нормативных актов и ориентация на идеалы западной демократии.

В целостном виде концепция социализации личности была разработана и адаптирована Ф. Гиддингсом, Э. Дюркгеймом, К. Маннгеймом на рубеже 19–20 веков, хотя аспекты правовой социализации исследовались с античных времен Платоном, Демокритом, Аристотелем. Т. Парсонс рассматривал социализацию как адаптацию к преобладающим в обществе ценностям, идеалам, стереотипам и нормам поведения. П. Бергер, Т. Лукман, П. Бурдьё изучали правовую социализацию как процесс взаимодействия индивидов. Российские ученые М.М. Ковалевский и Н.М. Коркунов определили правовую социализацию как преодоление «интуитивного» права и обучения правовой саморегуляции. Следует выделить современные работы В.Н. Кудрявцева, В.П. Казимирчука, в которых анализируются формы, механизмы, модели правовой социализации с учётом реалий современного российского общества.



Подводя итоги вышеизложенного, следует отметить, что актуальность проблемы социализации студентов технических специальностей в условиях современного российского общества, по-прежнему, остается первостепенной. Нет ни одного одинакового процесса социализации и ни одной одинаковой личности, так как индивидуальный опыт каждой из них уникален и неповторим. Невозможно достижение определенной степени успешности процесса социализации личности студентов технических специальностей в условиях современного общества без влияния гражданского, патриотического, нравственного, правового аспектов социализации.

### **Литература**

1. Андрееenkova Н.В. Проблемы социализации личности // Социальные исследования. М., 1999. Вып. 3.
2. Мудрик А.В. Социализация человека: учеб. пособие. М., 2006.
3. Современный словарь по педагогике / сост. Рапацевич Е.С. Мн.: Современное слово, 2010.
4. Хайруллина Ю.Р. Социализация личности: теоретико-методологические подходы. Казань, 2003.
5. Харчева В.Г. Основы социологии: учебник. М., 1997.

УДК 371.133.2

**Н.В. Балакина**

Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

### **ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРАКТИКА КАК ФАКТОР ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО СТАНОВЛЕНИЯ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Концепция модернизации российского образования определяет основную задачу профессионального образования как подготовку квалифицированного работника соответствующего уровня и профиля, конкурентоспособного на рынке труда, компетентного, ответственного, свободно владеющего своей профессией и ориен-

---

---

тированного в смежных областях деятельности, готового к постоянному профессиональному росту, социальной и профессиональной мобильности.

В осуществляемой в настоящее время модернизации системы высшего профессионального образования большое внимание уделяется производственной практике студентов.

Сложился особый круг предприятий, обусловленный региональным расположением нашего вуза, которые являются традиционными базами производственной практики студентов технических специальностей.

Основными задачами студентов во время прохождения производственной практики являются закрепление и расширение теоретических знаний, полученных при изучении специальных дисциплин, расширения технического кругозора студентов; длительное ознакомление с производством; воспитание чувства уважения к производственному труду и ответственности за выполнение производственных заданий и т.д.

Однако в реальной жизни все складывается далеко не так. Не стоит забывать о том, что абитуриенты, поступающие в вузы, не всегда имеют четкую мотивацию и довольно часто слабое представление о своей будущей профессии.

В связи с этим производственная практика является важнейшим фактором обучения, позволяющим ускорить процесс профессионального становления и развития.

Отметим некоторые значимые, на наш, взгляд аспекты кроме просто закрепления полученных теоретических знаний на практике.

Во-первых, это социализация молодого человека в реальной созидательной сфере жизни. Как бы хорошо не был организован учебный процесс, это всегда является некой моделью реальной жизни. Вхождение в производственный коллектив, умение себя в нем правильно позиционировать, подчиняться, выполнять приказы и их отдавать, умение подчинять собственные желания и потребности необходимости выполнения поставленной задачи не менее важны для профессионального становления, чем теоретические знания. Помогая это понять и осознать студенту в процессе прохождения производственных практик, производство получает для себя более адаптированную рабочую силу. Государство же – более зрелого гражданина и эффективного налогоплательщика, ко-

торый со своей стороны быстрее и в больших размерах начнет возвращать затраченные на образование средства.

Во-вторых, работа на предприятии в период производственных практик дает студенту, будущему специалисту, руководителю такие практические навыки, обучение которым порой и не предусмотрено учебными программами, или которые даются поверхностно. Это умение работать с документами, связанными с движением сырья, материалов, готовой продукции, с управлением персоналом. Это приобретение навыков делопроизводства, проведения совещаний, планерок, аттестаций, понимание роли и необходимости знаний таких дисциплин, как охрана труда, промышленная безопасность и т.д.

В-третьих, только практическое участие в производстве по выбранному профессиональному направлению позволит студенту не только реально увидеть все положительные и отрицательные стороны технического состояния производства, но окончательно определиться в правильности выбора профессии. И будет лучше, если это определение состоится в процессе обучения. В этом случае промышленные предприятия получают специалиста, нацеленного на работу в конкретной сфере общественного производства, а государство с большей вероятностью получит эффективного работающего гражданина [1].

В-четвертых, производственная практика позволяет интегрировать теоретические знания и практические умения, интенсивно преобразуя их в личностно-значимые качества, опыт и основы профессиональной культуры, способствуя развитию личности в целом.

В профессиональной деятельности человек, так или иначе, формирует и проявляет свое внутреннее содержание, определяет свое особое место в мире и утверждает себя в нем.

Наряду с общеизвестными функциями производственной практики, на которую направляют основные усилия ее руководители, следует учитывать и аксиологический аспект, суть которого заключается в том, чтобы:

– студент ощутил уверенность в правильном выборе профессии;

– произошла актуализация приобретенных предметных специальных знаний, окрепла познавательная самостоятельность

---

---

студента в поиске новых знаний, необходимых для осуществления профессиональной деятельности;

– закрепилось ощущение успеха, самореализации в реальной, а не моделирующей в аудиториях вуза профессиональной деятельности;

– студент приобрел собирательный или реальный профессиональный идеал;

– сформировалось ценностное отношение к профессиональной деятельности на основе рефлексии прожитого периода жизнедеятельности [2].

Производственная практика помогает развивать профессиональную рефлексию в условиях естественного профессионального процесса, когда для студента предметом размышлений становятся личностные и профессиональные качества, средства и методы собственной профессиональной деятельности, процесс выработки и принятия практических решений. Этот процесс отображения и отношения будущего специалиста к достоинствам и недостаткам собственной деятельности способствует формированию адекватного представления о себе, как о будущем профессионале.

Таким образом, в процессе производственной практики студент получает не только полное представление об избранной профессии, овладевает знаниями, умениями и навыками, но и ускоряет процесс профессионального развития и становления.

### **Литература**

1. Хатьков С.В., Родзевич А.П. Роль производственной практики в подготовке студентов к комплексной профессиональной деятельности // Уровневая подготовка специалистов: государственные и международные стандарты инженерного образования: сборник трудов научно-методической конференции. Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2012. С.330-332.
2. Мелекесов Г.А. Аксиологическая функция педагогической практики студентов университета // Вестник ОГУ. 2011. №2. С.225–229.

УДК 37.047

**И.В. Кашуба**

Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

**Г.М. Камалетдинова**

МОБУ СОШ, с. Шигаево

### **ПОЗНАВАТЕЛЬНЫЙ ИНТЕРЕС КАК ОДНО ИЗ СРЕДСТВ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО САМООПРЕДЕЛЕНИЯ**

На наших глазах происходит становление новой парадигмы, связанной с самостоятельным управлением всей своей жизнью. В рамках такого понимания в обучении возрастает роль личности учащегося, ведь перед учениками выпускных классов стоит проблема выбора способа продолжения образования после основной школы, ориентация в профиле его направления и будущей профессии после окончания полной средней школы. Профильная подготовка в старших классах позволяет максимально сориентировать личность на будущую профессию с учетом ее направленности, склонностей, интересов, способностей, с одной стороны, а также особенностей социоэкономической региональной ситуации – с другой. Новые задачи, поставленные обществом перед школой, помимо вооружения учащихся системой знаний, умений и навыков, требуют развития у детей черт творческой деятельности, обеспечивающих их познавательную самостоятельность, формирующих творческий склад ума. Для этого необходимо еще на школьной скамье учить школьников самостоятельно устанавливать факты, объяснять их, находить закономерности, которым они подчиняются, давать им оценку, то есть уметь решать проблемы, возникающие в процессе познавательной деятельности.

Профессиональное самоопределение в данном случае рассматривается как сложный динамический процесс формирования личностью системы своих основополагающих отношений к профессионально-трудовой среде, развития и самореализации духовных и физических возможностей, формирования им адекватных профессиональных намерений и планов, реалистического образа себя как профессионала.

---

Если из окружающего мира человек отбирает далеко не все, а только то, что является для него более значимым, то следует задуматься над тем, чтобы особо важное и значительное в обучении представить в интересной для ученика форме. Проблема развития познавательного интереса является важнейшей в настоящее время. Чтобы обучение и воспитание способствовало становлению личности, необходимо «разбудить» в учащемся исходное, ключевое звено его разумной деятельности – познавательную потребность, которая является источником его познавательной активности и лежит в основе развития познавательного интереса человека.

Активность (учения, освоения, содержания и т.п.) определяет степень (интенсивность, прочность) «соприкосновения» обучаемого с предметом его деятельности. К компонентам активности относят: готовность выполнять учебные задания; стремление к самостоятельной деятельности; сознательность выполнения заданий; систематичность обучения; стремление повысить свой личный уровень [1].

В педагогической практике познавательный интерес рассматривают часто лишь как внешний стимул этих процессов, как средство активизации познавательной деятельности ученика, как эффективный инструмент учителя, позволяющий ему сделать процесс обучения привлекательным, выделить в обучении именно те аспекты, которые смогут привлечь к себе произвольное внимание учеников, заставят активизировать мышление, волноваться и переживать, увлеченно работать над учебной задачей.

С точки зрения психолого-педагогической природы, феномен интереса рассматривается учеными в контексте нескольких научных направлений: представители интеллектуального направления исследований связывают суть интереса с умственной деятельностью, познавательными процессами индивида; сторонники эмоционального направления с чувством удовольствия и радости; представители волюнтаристского направления – с волевыми аспектами личности, обуславливающими преодолением трудностей.

Важной характеристикой интереса в педагогическом процессе является наличие его двух видов: пассивного интереса, характеризующегося «занимательностью» (когда человек находится в плену впечатлений); активного интереса, проявляющегося в самостоятельном упорном труде, когда человек с наслаждением отыскивает истину познания.

Интерес является личностным образованием, психологическую природу которого составляют интеллектуальные, эмоцио-

нальные и волевые процессы, и мотивом познания – внутренним побуждением к деятельности. Особенности, характеризующими интерес, являются:

- связь с потребностями человека (а именно с потребностью в познании, в ориентировке окружающей действительности);
- начало развития интереса к познанию приходится на раннее детство;
- познавательный интерес представляет собой единство объективного (свойств явлений действительности, на которые направлен) и субъективного (значимости познавательной деятельности для субъекта);
- интерес связан с положительным отношением к предмету познания.

Факторами, влияющими на развитие учебных интересов, являются: педагогическая оценка, содержание обучения, успешность занятий по предмету, качество преподавания, методы обучения, организация фронтальной и индивидуальной работы с детьми.

Интерес связан с интеллектуальным напряжением. Предпосылкой возникновения интереса к учению является отношение к учению, как к серьезной, общественно значимой деятельности. Его пробуждают такие формы работы, которые вызывают интеллектуальную активность ученика. Интерес формируется и развивается в деятельности, и влияние на него оказывают не отдельные компоненты деятельности, а вся ее объективно-субъективная сущность (характер, процесс, результат). Более того, познавательный интерес, активизируя все психические процессы человека, на высоком уровне своего развития побуждает личность к постоянному поиску преобразования действительности посредством деятельности (изменения, усложнения ее целей, выделения в предметной среде актуальных и значительных сторон для их реализации, отыскания иных необходимых способов, привнесения в них творческого начала).

Особенностью познавательного интереса является его способность обогащать и активизировать процесс не только познавательной, но и любой другой деятельности человека, поскольку познавательное начало имеется в каждой из них. Любой вид человеческой деятельности содержит в себе познавательное начало, поисковые творческие процессы, способствующие преобразованию действительности. Любую деятельность человек, одухотворенный

---

познавательным интересом, совершает с большим пристрастием, более эффективно.

Таким образом, в процессе развития учащихся познавательный интерес выступает в многозначной роли: как средство живого, увлекающего ребенка обучения; как сильный мотив к интеллектуальному и длительному протеканию познавательной деятельности; как предпосылки формирования готовности личности к непрерывному образованию, являясь определяющим фактором в процессе овладения ими знаниями.

Усиление интереса к проблеме профессионального самоопределения личности как процесса выбора профессии и самореализации в ней обусловлено практическим запросом, сформированным в условиях экономических преобразований, происходящих в нашей стране. Поворот российского образования к личностному и профессиональному развитию в условиях школьного обучения поставил принципиальный вопрос о разностороннем развитии личности школьника.

В настоящее время выбор будущей профессии, профессиональное самоопределение школьников происходит в условиях нестабильной ситуации в российской и мировой экономике. Неясность перспектив социального развития общества, материальные трудности ведут к тому, что многие молодые люди с тревогой и опасением смотрят в завтрашний день, не могут самостоятельно принять решение по поводу своего будущего, сделать самостоятельный профессиональный выбор.

Профессиональное самоопределение может совпасть с выбором профессии, если молодой человек выбирает профессию в соответствии со своими интересами, склонностями, устремлениями и способностями. Выбор профессии не совпадает с процессом профессионального самоопределения в тех случаях, если молодой человек «выбирает» профессию случайно, например, по факту близости работы к месту жительства, общественной моде на данную профессию, по знакомству и т.д.

Анализ психолого-педагогической литературы, изучение и анализ современной ситуации в школе позволил выявить причины, затрудняющие выбор профессиональных намерений учащихся:

- недостаточное знание учащимися мира профессий;
- низкая культура психологических знаний учащихся;



- недостаточная осведомленность их (и их родителей) о своих способностях, индивидуально-психологических особенностях, склонностях;
- отсутствие знаний о профессиональной пригодности.

Профессиональное самоопределение человека начинается далеко в его детстве, когда в детской игре ребенок принимает на себя разные профессиональные роли и проигрывает связанное с ним поведение. Но основной период выбора профессии приходится на старший школьный возраст, для которого характерны самоактуализация, принятие ответственных решений, определяющих всю дальнейшую жизнь человека.

В 13–15 лет наступает период развития профессионального самосознания, когда происходит формирование у школьников личного смысла выбора профессии, умений соотносить общественные цели выбора сферы деятельности со своими идеалами, представлениями о ценностях с их реальными возможностями. Для этого учащиеся должны овладеть максимумом знаний, умений по научным основам выбора профессии, которые приобретаются в процессе изучения специальных курсов.

В 16–17 лет происходит уточнение социально-профессионального статуса. У учащихся концентрируется внимание на формировании профессионально важных качеств в избранном виде труда, контроле и коррекции профессиональных планов, способах оценки результатов, достижений в избранной деятельности, самоподготовки к ней и саморазвития; целенаправленно осуществляется социально-профессиональная адаптация старшеклассников (формирование не только профессиональных знаний, умений, но и развитие норм, ценностей конкретного трудового коллектива). Заканчивается профессиональное самоопределение в ранней юности, когда уже необходимо принять решение, которое повлияет на всю дальнейшую жизнь человека.

Все вышесказанное определяет необходимость уделять особое внимание ситуации выбора школьниками профиля обучения на более ранних возрастных этапах. Цель образовательного учреждения – организация психолого-педагогической поддержки профессионального самоопределения учащихся, которая направлена на последовательную реализацию права подрастающего гражданина на сознательный выбор профессии. Решение выявленных проблем возможно через реализацию в школе идей профильного обучения. Профильное обучение начинается с организации в школе предпро-

---

---

фильной подготовки, которая является подсистемой профильного образования старшей школы и выполняет подготовительную функцию. В образовательном учреждении необходимо создать образовательное пространство, способствующее самоопределению учащихся, через организацию курсов по выбору, информационную работу и профессиональную ориентацию.

Многие престижные профессии, которые сегодня выбирают школьники, предъявляют определенные требования к соискателям, о которых выпускники школы не знают. Знания о той или иной профессии ученик чаще всего получает из СМИ, от товарищей, от своих родителей и т.д. Получив в вузе, колледже, лицее и других образовательных учреждениях ту или иную специальность, бывший выпускник понимает, что это «не его» и работать в данной сфере он не будет. Поэтому большая ответственность в правильном выборе профессиональных намерений учащимися лежит на образовательном учреждении.

УДК 378.14.015.62

**Н.А. Бахольская**

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

### **ЛИЧНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ И ПРИНЦИПЫ ЕГО ОРГАНИЗАЦИИ**

Общая картина внеличного развития академического педагогического знания в 20 веке привела в нашей стране к кризису педагогики, который обострился во второй половине восьмидесятых годов прошлого века и до сих пор не завершился. Главная причина его была связана с неспособностью педагогической науки удовлетворить запросы практики, осуществить прогноз ее развития и разработать необходимые для его осуществления средства.

Сегодняшнее российское образование обращается к гуманистическим идеям признания ценности и самобытности каждого человека.

Наиболее распространенная трактовка гуманизации образования (в частности, высшего) заключается в том, чтобы поставить в центр образования человека и развить его способности. Однако

для достижения этой цели существует несколько направлений. Рассмотрим основные из них.

Первое направление традиционно сводится к гуманитаризации высшего образования, т.е. к передаче студентам технических специальностей гуманитарных знаний. Но часто это не означает внимание к личности студента, поэтому процесс гуманизации осуществляется и в других направлениях.

Второе направление связано с попытками привнести в негуманитарные дисциплины гуманитарный материал (это может быть персонификация открытий, исторические факты и т.п.). Но это направление, как и первое, по существу, не выходит за рамки информационного подхода в образовании.

Третье направление гуманизации образования ориентируется на интеллектуальное развитие студентов. Оно охватывает не только знания, умения и навыки, но и сами способности к их приобретению. В рамках этого направления в настоящее время ведется много работ в плане интеллектуального развития студентов, их познавательной сферы. Например, в работах И.Н. Семенова, В.К. Зарецкого и других выделено понятие личностной рефлексии, которая призвана обеспечивать включенность субъекта в познавательную деятельность и его самооценку относительно возникающих препятствий и возможностей их преодоления.

Однако три вышеперечисленных направления практически не решают главную задачу гуманизации высшего, в частности технического, образования – развитие личности обучающихся. Непосредственно этому посвящено четвертое направление гуманизации образования. В этом направлении наметилось несколько подходов, которые посвящены личностно-ориентированному образованию и в вузе, и в средней школе, причем опыт школы может быть адаптирован к практике высшего учебного заведения.

В частности, большой интерес представляет позиция И.С. Якиманской, которая выдвигает основное требование к личностно-ориентированному обучению – признание обучающегося главной действующей силой всего учебно-воспитательного процесса. Обучение, как социально-организованный и заданный норматив познания, должно быть дополнено и переакцентировано на учение как построение самим студентом личностно значимых индивидуальных моделей познания. По ее мнению, нужно дифференциро-

---

вать учебные программы с учетом субъектного опыта и предпочтительных способов учебной работы обучающихся.

Е.В. Бондаревская рассматривает личностно-ориентированное образование с позиций культурологического подхода. Оно должно помочь обрести человеку смысл жизни, поддержать его индивидуальность и творческую самобытность, причем педагог рассматривается как посредник между студентами и культурой. Содержание личностно-ориентированного образования, по Бондаревской, должно иметь следующие обязательные компоненты:

- аксиологический (оказание помощи студентам в выборе личностно-значимой системы ценностных ориентаций);
- когнитивный (обеспечивающий научными знаниями о человеке, культуре, истории);
- деятельно-творческий (формирование у обучающихся различных способов деятельности и творческих способностей);
- личностный (познание себя, развитие рефлексии и самосовершенствование).

Следует отметить, что проведенное нами анкетирование студентов Института металлургии, машиностроения и материаловедения МГТУ показало, что, по их мнению, именно личностный компонент меньше всего отражен в содержании изучаемых ими учебных дисциплин.

Интересно также предложение А.А. Мелик-Пашаева подчинить содержание образования развитию личности, а не «прилаживать» студента к учебному материалу. То есть целью должно стать не преподавание конкретных учебных предметов, а развитие восприятия, логического и творческого мышления, коммуникативных навыков будущих специалистов.

Обобщая и вышеперечисленные концепции, и другие предложения современных психологов и педагогов, можно определить следующие принципы, которые должны быть положены в основу личностно-ориентированного высшего образования:

1. Создание в вузах благоприятных условий реализации свободы и прав личности для развития студентов. В этот принцип входят следующие компоненты:

- равноправие и взаимная заинтересованность в развитии всех субъектов обучения в вузе: студентов, преподавателей и управленческого персонала;

- расширение условий взаимодействия этих субъектов за счет различных сфер жизнедеятельности (неформальное общение, спорт, искусство и тому подобное);

- открытость вуза в отношении научных, общественных и производственных связей в регионе.

Таким образом, сфера развития личности студентов не должна быть ограничена учебными занятиями.

2. Осознание и принятие всеми субъектами научно-педагогического процесса в вузе иерархизированной системы ценностей в развитии специалиста с высшим образованием. Признавая в качестве главной цели обучения в вузе развитие личности студентов, не следует противопоставлять это усвоению знаний и умений, а акцентировать внимание на развитии профессионально важных качеств личности.

3. Принцип обеспечения полноты и непрерывности в развитии личности. В соответствии с ним личностные особенности студентов должны учитываться, начиная с отбора абитуриентов и заканчивая их трудоустройством.

4. Системно-стилевой подход в реализации личностно-ориентированного высшего образования. Само усвоение новых знаний и умений должно включать варьирование и свободный выбор таких параметров учебной деятельности, как уровень трудности решаемых задач, или выбор между коллективным или индивидуальным их выполнением.

5. Саморазвитие личности студентов, которое проявляется в потребностно-мотивационной сфере и способности к творческой деятельности. Свойством саморазвития является рефлексия. Причем, согласно работам Узнадзе, Абульхановой-Славской и Коссова, студенческий возраст является наиболее сензитивным к развитию рефлексивных способностей.

6. Создание условий психологической поддержки развития личности студентов. Под этим подразумевается создание в вузах психологической службы для оказания индивидуальной помощи, которая заключается в следующем:

- помощь преподавателям в повышении психолого-педагогической культуры и в преодолении профессионально-личностных деформаций;

- 
- определение психологической готовности абитуриентов и студентов к требованиям на различных этапах обучения в вузе и составление индивидуальных рекомендаций;
  - выявление неблагоприятных условий и симптомов психологической перегрузки студентов с целью профилактики;
  - создание благоприятного психологического климата в учебных группах.

Безусловно, внедрение в практику принципов личностно-ориентированного образования связано с рядом трудностей, среди которых можно выделить противоречия между знаниевым и личностным подходом в образовании, и недостаточное уделение внимания взаимосвязи личностного и профессионального развития студентов.

Однако, несмотря на это, идеи личностно-ориентированного высшего образования активно разрабатываются, более того, все чаще используется не термин «личностно-ориентированное», а «личностно-развивающее» высшее образование, которое ставит целью не только учет личностных особенностей студентов технических вузов, но и их развитие.

УДК 378.016

**Е.Д. Расщепкина**

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

### **ЛИЧНОСТЬ В ПРОФЕССИИ: ПРОБЛЕМЫ САМООПРЕДЕЛЕНИЯ И САМОРЕАЛИЗАЦИИ**

Развитие института профессионального образования определяется в первую очередь необходимостью подготовки студентов к квалифицированной работе по выбранной специальности.

В современной научной литературе система образования все чаще рассматривается в контексте глобальных проблем развития человечества, появляется объективная потребность в кадрах определенного уровня и профиля образования.

Провозглашается новая образовательная парадигма – переход от образования как «производства образовательных услуг» к

образованию как «образовательно-педагогическому производству» человека.

В зарубежной и отечественной литературе выделяются такие базовые представления о социальном статусе образования, как:

- формирование духовного потенциала личности;
- развитие утилитарных умений и навыков;
- эстетическое и социокультурное развитие.

Отмеченные тенденции преломляются в таких концептуальных понятиях, как «образовательная среда», «приоритеты образования», «система образования» и др.

Использование опыта становления профессионального образования позволит сохранить лучшие национальные традиции, выработать новые подходы к его оптимизации, а также избежать ошибок, порождаемых поспешным копированием зарубежных систем. Такая направленность использования исторического опыта становления профобразования соответствует объективному подходу к осмыслению социально-экономических, социально-культурных, организационно-педагогических и других условий его развития (эти вопросы освещены в работах Е.П.Белозерцева, С.Я.Батышева, Ю.В.Громыко, В.К.Розова, В.А.Сластенина и др.).

В современных социально-педагогических условиях молодой специалист – выпускник профессиональной школы – рассматривается работодателем в основном с позиций экономических и социально-психологических выгод, которые могут быть получены от его труда. Работодателю, как правило, нужен специалист, не только умеющий качественно выполнять профессиональные операции, но и способный к коллективной работе, инициативный, творческий, быстро ориентирующийся в сути проблем, максимально реализующий свой профессионально-психологический потенциал в труде. Однако в современной профессиональной школе личностные характеристики, не менее важные в профессиональной деятельности специалиста, часто остаются вне поля зрения и формируются нецеленаправленно. Поэтому в настоящее время в психологии и педагогике на передний план выдвигается проблема формирования творческой, инициативной, профессионально и социально ответственной личности, готовой как к постановке, так и к решению разнообразных общественных и профессиональных задач.

Данная проблема актуальна для всех ступеней профессионального образования. При этом профессиональная подготовка

---

студентов не должна сводиться только к совершенствованию ЗУ-Нов по дисциплинам, определенным в учебном плане, она должна быть направлена на совершенствование их личности в соответствии с требованиями профессии и профессионального сообщества. Такая подготовка может быть обозначена как подготовка специалистов с высоким уровнем профессионального развития. Для ее реализации рекомендуется выполнить два основных условия:

- 1) внести в учебные дисциплины изменения, касающиеся организации проведения занятий и формирования ключевых профессиональных квалификаций;

- 2) использовать в образовательном процессе средства эффективного отслеживания и контроля за развитием личности студента.

Методологической основой данной работы является принцип системного подхода к изучению личности и субъекта профессионального становления, раскрытый в работах Б.Г.Ананьева, Л.С.Выготского, А.Н.Леонтьева, С.Л.Рубинштейна, где личность рассматривается как субъект деятельности и общения. Частной методологией послужили концептуальные представления развития профессионала (Э.Ф.Зеер, Е.А.Климов, А.К.Маркова и др.), концепция личностно-ориентированного образования (Н.А.Алексеев, Э.Ф.Зеер, И.С.Якиманская и др.), а также концепция профессионального становления и профессионально ориентированная структура личности (Э.Ф. Зеер, К.К. Платонов, А.К. Маркова, Н.С. Пряжников и др.).

Выбор профессии или профессиональное самоопределение – основа самоутверждения личности в обществе, одно из главных решений в жизни.

В контексте понимания выбора профессии как выбора деятельности распространено мнение о том, что основным условием правильного выбора является профессиональный интерес или профессиональная направленность.

Одной из центральных идей концепции профессионального самоопределения является положение о том, что этот процесс направлен на увеличение вероятности самореализации. Самореализация становится возможной только при определенной степени актуализации положительного (позитивного) личностного смысла «Я». Если не происходит самореализации, возникает конфликтность самосознания, необходимость перестройки «Я» и пере-



осмысления отношения к себе. Этим во многом характеризуется профессиональное личностное самоопределение.

Выбор профессии – это процесс, состоящий из ряда этапов, продолжительность которых зависит от внешних условий и индивидуальных особенностей субъекта выбора профессии. Выделяют следующие признаки, этапы любого самоопределения:

- установление человеком своих собственных особенностей, черт, качеств, возможностей, способностей;
- выбор человеком критериев, норм оценивания себя;
- определение своих наличных, уже имеющихся к сегодняшнему дню качеств, соответствующих требуемых нормам, принятие или непринятие себя;
- предвосхищение своих завтрашних потенциальных качеств;
- построение своих завтрашних потенциальных качеств;
- построение своих целей и планов (близких и дальних) для развития у себя необходимых качеств;
- пересмотр человеком применяемых критериев и оценок, ибо изменяются ценности, менталитеты;
- пересамоопределение.

Рассмотрим отдельные виды самоопределения.

Жизненное самоопределение – это определение себя относительно общечеловеческих критериев смысла жизни.

Личностное самоопределение – это определение себя относительно выработанных в обществе (и принятых данным человеком) критериев становления личности и дальнейшая действенная реализация себя на основе этих критериев.

Социальное самоопределение – это определение себя относительно выработанных в обществе критериев принадлежности к определенному социальному кругу.

Профессиональное самоопределение – это определение человеком себя относительно выработанных в обществе (и принятых данным человеком) критериев профессионализма. Профессиональное самоопределение начинается с выбора профессии, но не заканчивается на этом, ибо человек в течение жизни сталкивается с непрерывной серией профессиональных выборов.

Можно выделить следующие показатели профессионального самоопределения:

- информированность студентов о существенных сторонах, обстоятельствах, основаниях выбора профессий;
- сформированность интересов и склонностей;

- 
- появление новых качественных сочетаний способностей;
  - образование новых качественных факторов в самосознании;
  - построение личностных профессиональных планов.

Таким образом, самоопределение включает два процесса: во-первых, формирование достаточно высокого уровня самоуважения и, во-вторых, осознание и принятие личностных качеств и особенностей, которые рассматриваются как одно из условий предполагаемых профессиональных достижений.

Система самоформирования (самообразования, самовоспитания, самообучения и саморазвития), являясь индивидуальным педагогическим делом, должна стать массовым явлением. Помимо того, что работа над собой – необходимое условие формирования личности, она и признак личности, ставшей на верный путь успеха в жизни.

Власть над собой – самая высшая власть, поработченность своими страстями – самое страшное рабство, – отмечал Сенека. Самоформирование выводит личность из-под зависимости от состояния других педагогических систем общества, еще достаточно несовершенных, и позволяет взять свою судьбу в свои руки. Отказываясь от него, человек отказывается от права и возможности направлять свою судьбу, подчинять себе обстоятельства жизни, отдается на волю случая, становится инструментом, пешкой в руках других, более сильных духом и целеустремленных людей.

Педагогика располагает немалым числом разработок по технике самоформирования (самовоспитания), но их реализация зачастую наталкивается на психолого-педагогические трудности:

- недооценку человеком (особенно молодым) необходимости использовать разработанные техники;
- беспечность, недальновидность, нравственную лень;
- отсутствие навыков и привычек самомотивирования и самопринуждения;
- неразвитость воли.

Поэтому нужна целенаправленная работа по организации самоформирования, побуждению к нему, обучению технике, использованию приемов и методов, вовлекающих людей в этот процесс. В вузах самоформирование студентов должно стать нормой.

УДК 378.147.88

**Н.А. Мохова**

Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

### **К ВОПРОСУ О РАЗВИТИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ УМЕНИЙ СТУДЕНТОВ ИНСТИТУТА МЕТАЛЛУРГИИ, МАШИНОСТРОЕНИЯ И МАТЕРИАЛООБРАБОТКИ МГТУ\***

Глобальные изменения в информационной, коммуникационной, профессиональной и других сферах современного общества требуют корректировки содержательных, методических, технологических аспектов образования, пересмотра прежних ценностных приоритетов, целевых установок и педагогических средств.

Изменение социально-экономических условий современной России предъявляет повышенные требования к качеству фундаментальной профессиональной подготовки студентов. Это предполагает развитие прочных системных знаний студентов, овладение технологиями исследования, развитие умений ориентироваться в различных сферах науки, культуры, формирование умений преодолевать стереотипы, быть готовым к интеллектуальной инновационной деятельности. Повышаются требования к уровню интеллектуального и личностного развития студента, измеряемого совокупностью профессиональных и социальных задач, которые должен уметь решать специалист. Выполнение студентами задач этого класса предполагает высокий уровень продуктивной деятельности, их решение требует от них способности генерировать новую по сравнению с содержащейся в учебном материале информацию, решать проблемы, возникающие в ходе учебной деятельности.

Одним из важнейших условий повышения эффективности учебного процесса является организация учебной исследовательской деятельности студентов и развитие её основного компонента – исследовательских умений, которые не только помогают студентам лучше справляться с требованиями программы, но и развивают у них творческие способности, логическое мышление, создают внутреннюю мотивацию учебной деятельности в целом.

---

\* Работа выполнена под руководством Н.А. Бахольской.

---

Идея включения студентов в исследовательскую деятельность для наиболее эффективного достижения целей обучения имеет давнюю, почти столетнюю историю, начало которой связано с именами методистов А.Я. Герда, М.М. Стасюлевича, Р.Э. Армстронга и естествоиспытателя Т.Гексли, сформулировавших общую идею исследовательского метода. С тех пор педагогическая мысль систематически обращается к исследовательской деятельности студентов, которая при этом рассматривается в качестве перспективного средства развития у них познавательной мотивации – этому посвящены работы Б.П. Есипова, М.А. Данилова, М.Н. Скаткина, И.Я. Лернера, М.И. Махмутова, Т.И. Шамоной, В.И. Андреева, Л.А. Казанцевой, А.И. Савенкова и др.

Проблема познавательной, самостоятельной исследовательской деятельности обучающихся освещена в работах многих психологов и дидактов – Т.К. Ахаян, А.П. Беляевой, Т.В. Габая, В.В. Давыдова, А.Н. Леонтьева, П.И. Пидкасистого, С.А. Расчетиной, Н.Ф. Талызиной, Г.И. Шукиной и др. Проблеме развития исследовательских умений посвящены исследования Ю.К. Бабанского, В.А. Сластенина, В.И. Орлова, А.В. Усовой, В.В. Краевского, Н.А. Лошкарева и др. Данные исследования в области развития исследовательских умений накладывают отпечаток на направленность высшего образования.

Технический вуз должен формировать целостную систему универсальных знаний, умений, навыков, а также опыт самостоятельной деятельности и личной ответственности студентов, то есть ключевые компетенции, определяющие современное качество содержания образования [7, с.17]. Главной задачей университетского технического образования является подготовка высококвалифицированных специалистов широкого профиля, способных к постоянному творческому поиску, приобретению новых знаний и обладающих навыками научного подхода к решению задач современного производства.

Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования выдвигается требование подготовить специалиста к решению следующих задач научно-исследовательской (экспериментальной, теоретической и расчетной) деятельности:

- научные исследования поставленных проблем;
- формулировка новых задач, возникающих в ходе научных исследований;

- разработка новых методов исследований;
- выбор необходимых методов исследования;
- освоение новых методов научных исследований;
- освоение новых теорий и моделей;
- обработка полученных результатов научных исследований на современном уровне и их анализ;
- работа с научной литературой с использованием новых информационных технологий, слежение за научной периодикой;
- написание и оформление научных статей;
- составление отчетов и докладов о научно-исследовательской работе, участие в научных конференциях.

Уровень подготовленности специалиста к научно-исследовательской деятельности зависит от того, как сформированы у него исследовательские умения. Без систематического, непрерывного формирования исследовательских умений всех студентов невозможно выполнение требований, заявленных Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования.

Уточним, что понимается под терминами «исследование», «исследовательские умения» и «исследовательская деятельность».

*Исследование* – это процесс выработки новых научных знаний, один из видов познавательной деятельности, который характеризуется объективностью, воспроизводимостью, доказательностью, точностью.

Следовательно, исследовательская деятельность студентов должна включать в себя ее осознанность субъектом, целенаправленность, познавательную направленность, ориентированную на получение знаний, обеспечивающих прогнозируемое изменение в какой-либо сфере общественной жизни.

*Исследовательская деятельность* – это особый вид деятельности и форма познания человеком действительности. Она направлена на достижение понимания человеком окружающей действительности. Студент так или иначе использует приобретенные знания в своей практической деятельности, убеждаясь в их истинности или отвергая их как ложные.

*Исследовательские умения* – умения обучающегося результативно выполнять действия, адекватные содержанию каждого уровня системы обучения по решению возникшей перед ним проблемы в соответствии с логикой научного исследования, на

---

основе имеющихся знаний, умений и навыков. *Исследовательские умения* студентов – это готовность к осуществлению исследовательской деятельности на основе использования знаний и жизненного опыта, с осознанием цели, условий и средств деятельности, направленной на изучение и выяснение процессов, фактов, явлений [3, с.36].

В научной литературе на сегодняшний день имеется довольно большое количество попыток классифицировать исследовательские умения студентов. Можно привести в пример классификации умений, выстроенные по функциям деятельности (З.Ф. Есарева, Н.В. Кузьмина, В.А. Николаев, Л.Ф. Спиринов, А.И. Щербаков и др.); по логике (этапности) процесса деятельности, в том числе и исследовательской (И.Г. Бердников, М.В. Владыка, Н.М. Яковлева и др.). На наш взгляд, наиболее оптимальной является классификация исследовательских умений, предложенная В.И. Андреевым:

- операционно-гностические;
- конструктивно-проективные;
- коммуникативные;
- информационные;
- диагностические [1, с.105].

Данная классификация, на наш взгляд, наиболее полно определяет номенклатуру исследовательских умений студентов Института металлургии, машиностроения и материаловедения. Рассмотрим вышеперечисленные исследовательские умения подробнее:

1. Операционно-гностические умения включают умственные приемы и операции, применяемые в исследовательской и познавательной деятельности студентов: сравнение, анализ и синтез, абстрагирование и обобщение, выдвижение гипотезы, сопоставление, обобщение и другие мыслительные операции.

2. Информационные исследовательские умения дают возможность студентам работать с различными источниками информации, представлять наглядно и конкретно идеи и результаты деятельности в виде моделей, схем, графиков и др.

3. Конструктивно-проектировочные умения формируют у студентов навыки самоорганизации, планирования в научно-исследовательской или учебно-исследовательской деятельности, умения проводить самоанализ и самоконтроль, регулировать свои действия в процессе решения исследовательских задач.

4. Диагностические умения дают возможность студентам на практике применять комплекс методов исследования, направленный на изучение индивидуальных особенностей личностей и групп, проведение экспериментальной работы, развитие наблюдательности, оценивания фактов и событий, а также обработку эмпирических данных.

5. Коммуникативные умения позволяют студентам осуществлять совместные исследования, использовать приемы сотрудничества в процессе исследовательской деятельности, осуществлять взаимопомощь, взаимоконтроль, грамотно, обоснованно и в рамках научной этики публично представлять результаты индивидуальной и совместной исследовательской деятельности.

Представляется интересной также точка зрения А.И. Савенкова, рассматривающего специфику общих исследовательских умений студентов:

- умение видеть проблемы;
- умение использовать технику формулировки вопросов;
- умение формулировать исследовательские гипотезы;
- умение давать определение понятиям;
- умение классифицировать;
- умения и навыки наблюдения;
- умения и навыки проведения эксперимента;
- умения делать выводы;
- умения и навыки работы с текстом;
- навык конспектирования;
- умения доказывать и защищать свои идеи [6, с.76].

Развитие исследовательских умений студентов должно проходить планомерно на всех этапах получения студентом знаний в высшем учебном заведении.

Процесс развития исследовательских умений студентов Института металлургии, машиностроения и материалобработки должен осуществляться по следующим этапам:

1. Подготовительно-мотивационный этап – направлен на выявление уровней сформированности исследовательских умений студентов и мотивации их к исследовательской деятельности за счет использования таких методов как: наблюдение за студентами на лекциях, семинарах, тестирование, анкетирование, беседы с преподавателями и студентами.

2. Операционно-деятельностный этап. На данном этапе продолжают формироваться операционно-гностические умения (нахо-

---

---

дять и формулировать проблему, ставить цели и задачи, формулировать предмет и объект исследования) и конструктивно-проектировочные умения (планировать ход исследовательской работы, осуществлять отбор теоретических методов исследования в соответствии с поставленной целью и исследовательскими задачами).

3. Рефлексивный этап формирования исследовательских умений у студентов – предполагает осознание действий, выполненных на каждом этапе, выявление ошибок и причин, ставших помехой для достижения цели, соотнесение полученных результатов в процессе формирования исследовательских умений с запланированным результатом.

Сформированность исследовательских умений является необходимым базисом адаптации студентов к условиям образовательного процесса в техническом университете. Перечислим показатели сформированности исследовательских умений студентов:

1. Работа с первоисточниками. Критерии сформированности:

- библиографические умения;
- умение вести записи по прочитанному;
- умение видеть структуру изложенного материала;
- умение систематизировать материал.

2. Наблюдение явлений и фактов. Критерии сформированности:

- умение и навыки выбора объекта наблюдения;
- умение и навык определения цели и задачи наблюдения;
- умение и навыки проведения наблюдения;
- умение точно и полно фиксировать наблюдаемые явления;

3. Анализ явлений и фактов. Критерии сформированности:

• умение расчленять изучаемое явление на составные элементы;

- умение сравнивать, сопоставлять;
- умение и навыки мысленно соединять части явлений и устанавливать их взаимосвязи.

4. Выявление проблемы (задач) и ее решение. Критерии сформированности:

- умение анализировать педагогическую ситуацию;



- умение увидеть и сформулировать проблему;
  - умение находить способы решения проблемы;
  - умение проверить решение проблемы.
5. Формулировка гипотезы. Критерии сформированности:
- умение отобрать и проверить данные, на которых строится гипотеза;
  - умение провести поисковый эксперимент;
  - умение формулировать гипотезу;
  - умение уточнить гипотезу.
6. Разработка и проведение эксперимента (расчеты, теоретическое исследование), обработка и обобщение результатов. Критерии сформированности:
- умение анализировать исходные данные;
  - умение разработать идею эксперимента (исследования);
  - умение разработать технологию и методику эксперимента;
  - умение провести эксперимент;
  - умение подвести итоги эксперимента;
  - умение осуществить самоконтроль и самооценку.
7. Обобщение результатов исследования, формулировка общих выводов. Критерии сформированности:
- умение анализировать проделанную работу с целью выявления наиболее существенных ее результатов;
  - умение формулировать обобщающие выводы в соответствии с поставленными целями и задачами и результатами их выполнения;
  - умение оценить результаты проведенного исследования с точки зрения их достоверности и практической значимости.
8. Использование достижения смежных наук. Критерии сформированности:
- умение использовать методы исследования, применяемые в смежной науке;
  - умение преломлять и обосновывать ключевые и частные идеи смежной науки осуществляемого исследования.

Для оценки сформированности исследовательских умений у студентов Института металлургии, машиностроения и материаловедения можно использовать различные методы: анкетирование, тестирование, беседа, наблюдение, экспертные оценки, самооценка, решение исследовательских задач разных типов и уровня

---

---

сложности, посещение учебных занятий, анализ выполненных исследовательских работ.

Процесс развития у студентов исследовательских умений предполагает качественный переход от низкого уровня к более высокому. Данный процесс требует преемственности в профессиональной подготовке студентов, предполагающей применение в процессе их обучения в вузе активных, деятельностных форм.

Таким образом, развитие исследовательских умений студентов позволяет усилить их интерес к учебе и тем самым улучшить адаптацию к образовательному процессу в вузе.

Занятия для студентов технических специальностей исследовательской деятельностью – переход в иное психологическое состояние, другой стиль общения, получение положительных эмоций, ощущение себя в новом качестве – в качестве первооткрывателя, исследователя. Это дает возможность студентам не только развить свои исследовательские умения, но и оценить роль научных знаний и увидеть возможности применения их на практике.

### Литература

1. Андреев В.И. Эвристическое программирование учебно-исследовательской деятельности. М.: Высш. шк., 1981. 240 с.
2. Гражданкина Л.Н. Формирование системного подхода организации научно- исследовательской деятельности студентов в процессе самостоятельной работы [On-line]. Режим доступа: <http://college.biysk.secna.ru/news/cit/cit2/grajdan.doc> (дата обращения: 23.09.06).
3. Леонтович А.В. В чем отличие исследовательской деятельности от других видов творческой деятельности // Завуч. 2001. № 1. С. 34–45.
4. Коротаева Г.Н. Об исследовательской работе студентов // Специалист. 2003. № 10. С. 5–13.
5. Кухтина Г.М. Исследовательская деятельность студентов и ее результативность // Специалист. 2003. №11. С. 34–42.
6. Савенков А.И. Психологические основы исследовательского подхода к обучению. М.: «Ось-89», 2006. 480 с.
7. Сычкова Н.В. Исследовательская подготовка студентов университета: монография. Магнитогорск: Изд-во МаГУ, 2002. 243 с.

УДК 378.016

**А.В. Макушина**

Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

### **К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ ЛИЧНОСТИ БЕЗОПАСНОГО ТИПА У СТУДЕНТОВ ИНСТИТУТА МЕТАЛЛУРГИИ, МАШИНОСТРОЕНИЯ И МАТЕРИАЛООБРАБОТКИ МГТУ\***

В настоящее время человечество постоянно сталкивается с угрозами природных и техногенных катастроф, сопровождающихся массовой гибелью людей. Последнее обстоятельство зачастую связано с неумением населения предпринимать правильные действия в экстремальных ситуациях.

Следует отметить, что в нашей стране проблема безопасности стоит чрезвычайно актуально. Последнее десятилетие характеризуется такими негативными явлениями, как: снижение численности населения, террористические акты, рост преступности, рост наркомании и алкоголизма, прежде всего в молодежной среде. Эта проблема, обусловленная деятельностью самого человека, возвращает его от обращения к внешним средствам защиты от опасностей к самому себе, как их источнику.

Настоящее время обуславливает необходимость комплексного решения важной педагогической проблемы – разработки концептуальных основ формирования личности безопасного типа в системе образования. Целью системы образования становится формирование личности, безопасной, прежде всего, для самого себя, окружающей среды обитания, ориентированной на развитие и способность защищать себя от внешних угроз.

Под личностью безопасного типа понимают человека, способного к продуктивной деятельности по сохранению своего духовного и физического здоровья, защите окружающих людей и природы от внешних угроз на уровне высокоразвитых духовных качеств, навыков и умений.

Для личности безопасного типа характерны:

- поисковая активность;

---

\* Работа выполнена под руководством Н.А. Бахольской.

- 
- коллективистская мотивация;
  - осознание единства всего живого;
  - понимание своего места в обществе, коллективе, семье;
  - чувство уверенности в собственных силах для решения возникающих проблем;
  - навыки эффективного вербального и невербального общения;
  - стремление помогать другим людям;
  - готовность к сопереживанию;
  - отсутствие страха перед мнимыми угрозами, страданий из-за мелочей и неудобств личной жизни.

Для формирования личности безопасного типа важны:

- критичность мышления;
- преобладание волевой сферы над эмоциональной;
- способность человека к компенсации таких дезорганизирующих деятельность факторов, как усталость, сонливость и плохое настроение.

Способность человека противодействовать опасности зависит от его профессиональных качеств, жизненного опыта и знания правил безопасности. Также успешному и безопасному решению различных задач помогают креативные способности человека, новые методы рационального выхода из самых разнообразных и неожиданных ситуаций.

Важно, что фактором, обуславливающим способность человека противостоять опасности, является его мотивация к деятельности и ее безопасности. Определяется данная мотивация степенью склонности человека к рискованному поведению и другими свойствами личности.

Основополагающей характеристикой для формирования личности безопасного типа является социальная активность человека, проявляющаяся:

- в применении опасных или безопасных способов самореализации в условиях взаимодействия с природой или инфраструктурой города;
- в общественно-правовых отношениях, сложившихся в обществе и проявляющихся во взаимоотношениях людей друг с другом и с государственными, административными и правоохранительными органами.

Исходя из требований, предъявляемых к человеку средами обитания (природой, обществом, техногенной средой), основными

чертами личности безопасного типа, которые необходимо формировать у студентов высших учебных заведений, можно назвать:

- общественно-коллективистские мотивы поведения гражданина;
- бережное отношение к окружающему миру; грамотность во всех областях обеспечения безопасной жизнедеятельности;
- наличие навыков защиты от угроз природы и людей, исходящих от внешних источников и от самого себя.

Содержание поведения личности студента, относящейся к безопасному типу, определяется наличием трех основных компонентов, которые существенно влияют на приобретения комфортного уровня взаимодействия студента и различных сред обитания человека. Такими компонентами являются:

1. Предвидение опасности:

- правильная оценка ситуации (вид опасности, характер развития опасности, последствия опасности, правовая и нормативно-практическая подготовленность);
- предвидение опасности от среды обитания (природной, техногенной, социальной), военных действий;
- предвидение опасности от собственного «Я» (грозящей самому себе, среде обитания, другим людям).

2. Уклонение от опасности. Студент должен:

- знать природу возникновения и характер развития опасных ситуаций;
- оценивать свои силы и возможности преодоления опасности;
- уметь правильно оценивать возникающие опасные ситуации.

3. Преодоление опасности – формирование у студента уверенности в том, что он, не сумев уклониться от опасности, все же способен преодолеть ее последствия. Для этого он должен уметь вести себя адекватно сложности опасной ситуации (на воде, при пожаре, в межнациональных конфликтах, при террористической угрозе, биохимической угрозе, производственной опасности и т.д.). Преодоление опасности возможно при:

- знаниях способов защиты и владении навыками их применения (укрытие от опасности и применение способов борьбы с последствиями);

---

- владении навыками само- и взаимопомощи (при ранении, при ожогах, при поражении током, при химической травме в условиях автономного выживания и т. д.).

Таким образом, общая цель формирования личности безопасного типа должна сводиться к выработке у студентов навыков и умений, позволяющих правильно строить свое поведение, а также осуществлять профилактику опасностей, окружающих человека в современном мире.

Следует отметить, что формирование личности безопасного типа у студентов Института металлургии, машиностроения и материалообработки МГТУ происходит при изучении таких дисциплин, как: «Основы безопасной жизнедеятельности», «Автономное выживание в природе», «Безопасность на транспорте», «Безопасность в чрезвычайных ситуациях», «Производственная безопасность», «Подготовка к воинской службе», «Охрана природы», «Основы медицинских знаний», «Химия», «Экология».

Особо нужно подчеркнуть роль блока психолого-педагогических дисциплин, при изучении которых студенты получают знания об особенностях формирования личности человека, о способах решения конфликтных ситуаций, о путях предотвращения манипуляций сознанием, о специфике межнациональных отношений и т.д.

Все это способствует формированию навыков и умений, позволяющих студентам обдуманно и эффективно выстраивать свое поведение в современном мире и решать возникающие жизненные проблемы.

### Литература

1. Шершнева Л.И. Формирование личности безопасного типа как отражение потребности общества и времени // Безопасность. 1994. №7.
2. Безопасность жизнедеятельности / под ред. С.В. Белова. М., 2000.
3. Калюжный Е.А., Михайлов С.В. Безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие. М.: Арзамас, 2011.
4. Гайдар А.П. Безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие. М., 1998.

---



---

**ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ**
**А**

Алхимов В.Н. .... 115

**Б**

Балакина Н.В. .... 260, 265

Бахольская Н.А. .... 248, 274

Бегинюк В.А. .... 63

Березова С.В. .... 4

Боброва З.М. .... 234, 237

Большаков А.А. .... 212

Большакова М.Ю. .... 179

Буранова Э.Ф. .... 122

**В**

Вдовин К.Н. .... 8, 47, 80, 151

**Г**

Ганеев А.А. .... 41, 201

Гольцов А.С. .... 28

Горленко Д.А. .... 80

Грачев А.Н. .... 190

Григорьева Е.П. .... 260

Гулаков А.А. .... 60

**Д**

Деев В.Б. .... 115

Долбиллов К.А. .... 103

Долгополова Л.Б. .... 51, 60

**Е**

Емельянов А.П. .... 165

Емелюшин А.Н. .... 139

Емелюшин А.Н. .... 109

Ершова О.В. .... 206

**З**

Завалицин А.Н. .... 80

Зальцман Э.С. .... 156

Зуева Т.Ю. .... 237

**И**

Ильина О.Ю. .... 237

Исебаев Е.Х. .... 103

**К**

Казаков А.С. .... 11

Калитаев А.Н. .... 93

Камалетдинова Г.М. .... 269

Каримуллина Э.А. .... 63

Кашуба И.В. .... 255, 269

Колокольцев В.М. .... 4

Коляда Л.Г. .... 206

Коровин В.А. .... 190, 226

Косарева Э.А. .... 151

Кощев П.В. .... 4

Крапивко Ю.С. .... 206

Кривенков И.В. .... 165

Курилина Т.Д. .... 190, 226

**Л**

Леушин И.О. 18, 190, 212, 226

Лисичкин Д.В. .... 103

**М**

Макарова И.В. .... 70

Макарушина О.Б. .... 175, 221

Макушина А.В. .... 291

Малашкин С.О. .... 175, 221

Маркевич А.В. .... 47

Махмутов Р.Ф. .... 35

Мезенцева А.И. .... 41

---

Миляев А.Ф. .... 103  
Молочков П.А. .... 134  
Молочкова О.С. .... 134  
Морозов А.Н. .... 109  
Мохова Н.А. .... 283  
Мошкунов В.В. .... 11, 144

**Н**

Насыров Т.М. .... 70  
Нефедьев С.П. .... 139

**О**

Оринина Л.В. .... 242

**П**

Петроченко Е.В. .... 139  
Петухов В.Н. .... 122  
Пивоварова К.Г. .... 28  
Пономарева К.В. .... 115  
Потапов М.Г. .... 134  
Прохоренко А.В. .... 115

**Р**

Рамазанов И.А. .... 35  
Расцепкина Е.Д. .... 278  
Решетов В.А. .... 170  
Рожков И.И. .... 196  
Романов А.Д. .... 87, 170, 196  
Романов А.С. .... 226

**С**

Селиванова Е.С. .... 234  
Сергеев Д.С. .... 120  
Сибгатуллин С.К. .... 35, 63, 122  
Синицкий Е.В. .... 134  
Синицких К.В. .... 144  
Смирнов В.В. .... 201

Столяров А.М. .... 11, 129, 144  
Столяров А.Ю. .... 221  
Сысоева К.Е. .... 255  
Сычков А.Б. .... 175, 183, 221

**Т**

Тарасов Д.К. .... 28  
Телегенова Д.А. .... 248  
Токарева Н.В. .... 221  
Тутарова В.Д. .... 93  
Тухватулин И.Х. .... 60

**У**

Урин С.Л. .... 156

**Ф**

Феоктистов Н.А. .... 8  
Фирстов А.П. .... 161  
Фирстова Н.Д. .... 161

**Х**

Хабибуллин Ш.М. .... 8

**Ц**

Цецорина С.А. .... 115

**Ч**

Чернов В.П. .... 165  
Чернышов Е.А. .... 87, 170, 196  
Чистяков Д.Г. .... 18

**Ш**

Шайхутдинова Е.Ф. .... 41, 201  
Шаповалов А.Н. .... 51, 93, 129  
Шевченко Е.А. .... 129  
Шилова А.В. .... 139



---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

Вступительное слово главного научного редактора..... 3

### Раздел 1

#### Процессы плавки и обработки литейных сплавов

**В.М. Колокольцев, С.В. Березова, П.В. Кощеев**

Исследование влияния высокотемпературной обработки расплава на теплостойкие свойства литейной инструментальной стали..... 4

**К.Н. Вдовин, Н.А. Феоктистов, Ш.М. Хабибуллин**

Исследование процесса эксплуатации литых броней из стали марки 110Г13Л в мельнице МПСИ – 70х23..... 8

**А.М. Столяров, В.В. Мошкунов, А.С. Казаков**

Верхняя граница проницаемости двухфазной зоны в непрерывнолитых слябах из трубной стали.....11

**И.О. Леушин, Д.Г. Чистяков**

Формирование термоокалиностойкой структуры посредством интенсификации процессов феррито- и графитообразования на примере отливок стеклоформ.....18

**А.С. Гольцов, К.Г. Пивоварова, Д.К. Тарасов**

Взаимосвязь первичной литой структуры и кинетики окисления железоуглеродистых сплавов.....28

**С.К. Сибагатуллин, Р.Ф. Махмутов, И.А. Рамазанов**

Действие повышения температуры дутья на ход плавки чугуна в зависимости от условий работы доменной печи.....35

**А.И. Мезенцева, А.А. Ганеев, Е.Ф. Шайхутдинова**

Исследование влияния легирующих элементов на жаропрочность алюминиевых сплавов, применяемых в авиастроении .....41

**К.Н. Вдовин, А.В. Маркевич**

Исследование стойкости чугуна в соляной кислоте .....47

---

---

<b>А.Н. Шаповалов, Л.Б. Долгополова</b> Комплексный подход к решению проблемы качества металла ....	51
<b>А.А. Гулаков, И.Х. Тухватулин, Л.Б. Долгополова</b> Повышение качества сортопрокатных валков из высокопрочного чугуна .....	60
<b>С.К. Сибгатуллин, Э.А. Каримуллина, В.А. Бегинюк</b> Повышение эквивалента замены кокса природным газом при проведении доменного процесса.....	63
<b>Т.М. Насыров, И.В. Макарова</b> Производство гибридного агломерата в лабораторных условиях ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова» и исследования его свойств ...	70
<b>К.Н. Вдовин, Д.А. Горленко, А.Н. Завалицин</b> Процессы, проходящие при нагреве индифинитного хромоникелевого чугуна .....	80
<b>Е.А. Чернышов, А.Д. Романов</b> Развитие судостроительных корпусных сталей.....	87
<b>А.Н. Шаповалов, В.Д. Тутарова, А.Н. Калитаев</b> Совершенствование технологии вакуумирования осевых марок сталей в условиях ЭСПЦ ОАО «Уральская Сталь».....	93
<b>А.Ф. Миляев, К.А. Долбилов, Д.В. Лисичкин, Е.Х. Исебаев</b> Совершенствование технологии выплавки стали в 25 т ДСП.....	103
<b>А.Н. Емельюшин, А.Н. Морозов</b> Структура и свойства плазменно-упрочнённых дисковых ножей	109
<b>В.Б. Деев, К.В. Пономарева, С.А. Цецорина, А.В. Прохоренко, В.Н. Алхимов</b> Технологии получения литейных алюминиевых сплавов с модифицированной структурой .....	115
<b>Д.С. Сергеев</b> Улучшение управляемости многофункциональным рафинировочным процессом.....	120

<b>В.Н. Петухов, Э.Ф. Буранова, С.К. Сибгатуллин</b> Подготовка пут на основе исследования влияния группового химического состава реагентов-вспенивателей на режим флотации .....	122
<b>Е.А. Шевченко, А.М. Столяров, А.Н. Шаповалов</b> Изучение влияния выпуклости узких граней непрерывнолитых слэбов на качество листового проката.....	129
<b>П.А. Молочков, Е.В.Синицкий, М.Г.Потапов, О.С. Молочкова</b> Влияние кальций-стронциевого карбоната на структуру и свойства чугунов.....	134
<b>С.П. Нефедьев, А.Н. Емелюшин, Е.В. Петроченко, А.В.Шилова</b> Формирование структуры износостойкого покрытия при плазменно-порошковой наплавке .....	139
<b>А.М. Столяров, К.В. Синицких, В.В. Мошкунов</b> Влияние конвертерного шлака на десульфурацию металла в ковше .....	144

## Раздел 2

### Технология литейной формы

<b>К.Н. Вдовин, Э.А. Косарева</b> Улучшение технологических свойств жидкостекольных формовочных смесей .....	151
<b>Э.С. Зальцман, С.Л. Урин</b> Ускоренное охлаждение отливок изложниц из чугуна с шаровидным графитом .....	156
<b>А.П. Фирстов, Н.Д. Фирстова</b> Преимущества применения кислот средней силы при отверждении щелочных силикатов натрия.....	161
<b>А.П. Емельянов, В.П. Чернов, И.В. Кривенков</b> Разработка состава стержневой смеси на основе ХТС и CO <sub>2</sub> процессов для стального литья.....	165

---

---

### Раздел 3

#### Металловедение и термообработка сплавов и отливок

**Е.А. Чернышов, В.А. Решетов, А.Д. Романов**

Развитие систем автоматизированного проектирования  
в литейном производстве ..... 170

**А.Б. Сычков, С.О. Малашкин, О.Б. Макарушина**

Влияние качественных параметров непрерывно-литой заготовки  
и технологии термической обработки на структуру и свойства  
бунтового проката ..... 175

**М.Ю. Большакова**

Исследование влияния предварительной термической обработки  
на структуру стали 30ХМЛ после закалки при индукционном  
нагреве ..... 179

**А.Б. Сычков**

Неметаллические включения в высокоуглеродистой стали ..... 183

**А.Н. Грачев, В.А. Коровин, Т.Д. Курилина, И.О. Леушин**

Варианты использования шламов закалочных баков термических  
цехов ОАО «ГАЗ» в литейном производстве ..... 190

**Е.А. Чернышов, А.Д. Романов, И.И. Рожков**

Создание комплекса для оценки термической усталости литых  
элементов паротурбинной установки замкнутого цикла ..... 196

### Раздел 4

#### Специальные способы литья

**В.В. Смирнов, А.А. Ганеев, Е.Ф. Шайхутдинова**

Применение технологии послойного синтеза для изготовления  
деталей из интерметаллидных сплавов на основе титана ..... 201

**О.В. Ершова, Л.Г. Коляда, Ю.С. Крапивко**

Влияние химического состава техногенных минеральных отходов  
на свойства композиционного материала ..... 206

---

---

## Раздел 5 САПР в литейном производстве

**И.О. Леушин, А.А. Большаков**

Опыт применения гр-технологии для производства литейной оснастки .....212

**А.Ю. Столяров, Н.В. Токарева, А.Б. Сычков,  
О.Б. Макарушина, С.О. Малашкин**

Математическое и физическое моделирование структурообразования при патентировании высокоуглеродистой катанки и проволоки .....221

## Раздел 6

### Вопросы экологии и экономики в литейном производстве

**В.А. Коровин, А.С. Романов, И.О. Леушин, Т.Д. Курилина**

Утилизация шламов гальванического производства .....226

**Е.С. Селиванова, З.М. Боброва**

Методы снижения выбросов соединений серы в атмосферу при грануляции доменного шлака .....234

**З.М. Боброва, О.Ю. Ильина, Т.Ю. Зуева**

Регулирование вопросов охраны земельных ресурсов и недр ...237

## Раздел 7

### Педагогические аспекты в подготовке кадров для металлургических предприятий

**Л.В. Орнина**

Создание социокультурной среды университета как фактора формирования гражданской толерантности студентов .....242

**Н.А. Бахольская, Д.А. Телегенова**

К вопросу о роли интерактивного обучения в формировании химической компетентности студентов института металлургии, машиностроения и материалообработки МГТУ .....248

---

---

**И.В. Кашуба, К.Е. Сысоева**

Креативность как фактор развития социализации учащихся .....255

**Е.П. Григорьева, Н.В. Балакина**Отдельные аспекты социализации личности студентов  
технических специальностей в условиях  
современного общества .....260**Н.В. Балакина**Производственная практика как фактор профессионального  
становления студентов технического университета .....265**И.В. Кашуба, Г.М. Камалетдинова**Познавательный интерес как одно из средств формирования  
профессионального самоопределения .....269**Н.А. Бахольская**Личностно-ориентированное образование в техническом вузе  
и принципы его организации .....274**Е.Д. Расщепкина**Личность в профессии: проблемы самоопределения  
и самореализации .....278**Н.А. Мохова**К вопросу о развитии исследовательских умений  
студентов института металлургии, машиностроения и  
материалобработки МГТУ .....283**А.В. Макушина**К вопросу о формировании личности безопасного типа у  
студентов института металлургии, машиностроения и  
материалобработки МГТУ .....291

Именной указатель .....295

Научное издание

## **ЛИТЕЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ**

Выпуск 12

Межрегиональный сборник научных трудов

Под редакцией В.М.Колокольцева

Редактор Н.В. Кутекина

Оператор компьютерной правки Е.А. Назарова

Подписано в печать 27.12.2013. Рег. № 151-13. Формат 60x84/16. Бумага тип. № 1.  
Плоская печать. Усл.печ.л. 19,00. Тираж 100 экз. Заказ .



Издательский центр ФГБОУ ВПО «МГТУ»  
455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38  
Полиграфический участок ФГБОУ ВПО «МГТУ»