

# **ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

---

**№ 1 (14) 2014**

---

Журнал входит в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

---

## **Редакционный совет**

### **Председатель ред. совета:**

**В. М. Колокольцев** – проф., д-р техн. наук,  
ректор ФГБОУ ВПО «МГТУ»

### **Члены ред. совета:**

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

**К. К. Каскин** – канд. техн. наук, проф.  
Актыбинского государственного  
университета (Казахстан)

**О. Ю. Шешуков** – д-р техн. наук, проф.  
ГУ ИМетРАН, ФГАОУ ВПО  
«УрФУ имени первого Президента России  
Б. Н. Ельцина»

**Збигнев Конопка** – д-р техн. наук, проф.  
Ченстоховского технологического  
университета (Польша)

### **Главный редактор:**

**В. А. Бигеев** – д-р техн. наук, проф.  
ФГБОУ ВПО «МГТУ»

### **Научный редактор:**

**И. В. Макарова** – канд. техн. наук,  
и.о. доц. ФГБОУ ВПО «МГТУ»

© ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2014

Учредитель – Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова  
(455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, д.38).  
16+, в соответствии с Федеральным законом № 436–ФЗ от 29.12.10.

### **Адрес редакции:**

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38  
Тел.: (3519) 29-84-30.

Факс (3519) 23-57-60

E-mail: m.irina1976@mail.ru; [v.bigeev11@yandex.ru](mailto:v.bigeev11@yandex.ru)

Журнал подготовлен к печати издательским центром МГТУ  
им. Г. И. Носова, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.  
Выход в свет: 25.06.2014.

Отпечатан на полиграфическом участке МГТУ им. Г.И. Носова,  
455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.

Заказ 317. Тираж 500 экз. Цена свободная.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ОБОГАЩЕНИЕ И ПОДГОТОВКА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ К МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМУ ПЕРЕДЕЛУ ..... 4

**Ширяева Е.В., Подгородецкий Г.С.,  
Малышева Т.Я., Горбунов В.Б.**  
Изучение состава и структуры офлюсованного  
агломерата при добавках низкощелочного  
красного шлама..... 4

**Шаповалов А.Н., Овчинникова Е.В.,  
Майстренко Н.А.**  
Качество подготовки агломерационной шихты к  
спеканию в условиях ОАО «Уральская сталь» ..... 6

**Нефедов А.В.**  
О возможности модернизации основного  
оборудования производства монокромата натрия  
цеха №1 ОАО «НЗХС» ..... 9

**Сибгатуллин С.К., Гушин Д.Н.,  
Харченко А.С., Гостенин В.А., Сенькин К.В.**  
Повышение содержания железа в агломерате  
изменением соотношения концентратов ОАО  
«ММК» и Лебединского ГОК по лабораторным  
исследованиям ..... 12

**Насыров Т.М., Макарова И.В., Дружков В.Г.**  
К вопросу производства агломерата из  
тонкоизмельченных железорудных концентратов 16

**Абзалов В.М., Берсенев И.С.,  
Евстюгин С.Н., Щеглов В.Н.**  
Исследование физико-химических процессов при  
термообработке железорудного концентрата с  
содержание серы более 1%..... 19

### МЕТАЛЛУРГИЯ ЧУГУНА ..... 21

**Дружков В.Г., Ширшов М.Ю.**  
Причины неравномерного распределения дутья  
по фурмам доменных печей и необходимость  
оснащения их САРД нового поколения..... 21

**Сибгатуллин С.К., Харченко А.С., Полинов А.А.,  
Павлов А.В., Семенюк М.А., Бегинюк В.А.**  
Стабилизация соотношения расходов природного  
газа и дутья по фурмам доменной печи..... 23

**Потапова М.В., Ишмуратов Р.А., Насыров Т.М.**  
Современные технологии внедоменной  
десульфурации чугуна ..... 26

### МЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ ..... 28

**Метелкин А.А., Шешуков О.Ю.,  
Некрасов И.В., Егизарьян Д.К.**  
Гомогенизация ковшевых шлаков в условиях  
ОАО «ЕВРАЗ НТМК»..... 28

**Байкин А.А., Столяров А.М.,  
Мошкунов В.В., Казаков А.С.**  
Разливка стали на одноручевой слябовой МНЛЗ  
через погружные стаканы различной конструкции...31

**Колесников Ю.А., Буданов Б.А., Сергеев Д.С.**  
Анализ технологических параметров выплавки  
стали в конвертере с использованием  
сидеритовой железной руды ..... 34

**Скобельцын М.А., Селиванов В.Н.**  
Анализ влияния технологических параметров  
кислородно-конвертерного цеха на качество  
металлопродукции..... 36

**Дюльдина Э.В., Коротин А.В.**  
Изменение химического состава шлака при  
увеличении его массы в промежуточном ковше  
МНЛЗ ..... 39

### ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЯ И ПРОИЗВОДСТВО ФЕРРОСПЛАВОВ ..... 41

**Шатохин И.М., Бигеев В.А.,  
Шаймарданов К.Р., Манашев И.Р.**  
СВ-синтез силикотитановых сплавов для  
легирования титансодержащих сталей..... 41

**Парсункин Б.Н., Петрова О.В., Полухина Е.И.**  
Исследование влияния электрического режима  
дсп на себестоимость выплавляемой стали..... 44

### ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ..... 47

**Фирстов А.П.**  
Дальнейшее применение CO<sub>2</sub>-процесса..... 47

**Груздева И.А., Брусницын С.В., Сулицин А.В.,  
Мысик Р.К., Ожгихин И.В.**  
Влияние добавок на микроструктуру и качество  
поверхности отливок из сплава системы Cu-Ni-Zn ... 49

**Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А.,  
Хабибуллин Ш.М.**  
Технологический процесс производства брони  
из стали марки 110Г13Л в условиях  
ООО «Ремонтно-механический завод»..... 51

**Долгополова Л.Б., Скурихин А.В.,  
Шаповалов А.Н.**  
Анализ брака литых чугунных валков (часть 1) ... 53

**Миляев А.Ф., Никитин Ю.П., Кадников С.В.,  
Тимофеев В.А., Матвеев А.Н.**  
Влияние химического состава ваграночного  
чугуна на стойкость изложниц..... 56

**Гавариев Р.В., Савин И.А., Леушин И.О.**  
К вопросу о повышении эксплуатационных  
показателей пресс-форм для литья под давлением  
нанесением многофункциональных покрытий..... 58

**Савинов А.С., Тубольцева А.С.**  
Определение напряжений в кристаллизующемся  
слое стенки отливки..... 61

**Гавариев Р.В., Савин И.А., Леушин И.О.**  
К вопросу о повышении эксплуатационной  
стойкости пресс-форм литья под давлением  
цинковых сплавов..... 64

## **ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ**

### **СРЕДЫ..... 68**

- Киселёва К.А., Мельникова М.О., Боброва З.М.**  
Способы снижения воздействия пищевых производств на окружающую среду в г. Магнитогорске..... 68
- Гиревая Х.Я., Гиревой Т.А., Боханова К.Е.**  
Антикоррозионное покрытие на металл из продуктов химической деструкции полиэтилентерефталата ..... 70
- Моисеев Д.О., Леушин И.О.**  
Оценка экологической безопасности промышленного применения технологии литья под давлением алюминиевых сплавов с использованием кислородосодержащих композиций ..... 73
- Свиридова Т.В.**  
Применение геомембран для изоляции хранилищ промышленных отходов..... 74
- Лимарева Ю.А., Тахтина А.В., Лимарев И.П.**  
Влияние стандартов экологического менеджмента на микроэкономическую политику химических производств..... 76
- Боброва О.Б., Гумерова Л.Ш., Медведева Е.С.**  
Субъективная оценка здоровья и состояния окружающей среды жителями г. Магнитогорска.. 78

**Селиванова Е.С., Боброва З.М.**

Методы снижения выбросов соединений серы в атмосферу при грануляции доменного шлака..... 81

**Боброва З.М., Ильина О.Ю., Зуева Т.Ю.**  
Регулирование вопросов охраны земельных ресурсов и недр..... 82

**Шабалин Е.И., Богачева И.Ю., Шабалина Ю.В.**  
Выходной экспресс-контроль продукции ооо «Компас-МГТУ» на базе рентгенофлуоресцентного энергодисперсионного спектрометра ARL QUANTX ..... 85

### **РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ....88**

**Калугина Н.Л., Варламова И.А., Калугин Д.А., Чурляева Н.А.**  
Особенности кондиционирования оборотных растворов золотоизвлекательного участка кучного выщелачивания..... 88

**Костина З.И., Крылова С.А., Понурко И.В.**  
Защита металлических поверхностей водоохлаждающих систем от коррозии и солеотложений..... 90

**Запарнюк М.Н., Нешпоренко Е.Г.**  
Разработка тепловой схемы обжига сидеритовой руды в УСТК ..... 93

# ОБОГАЩЕНИЕ И ПОДГОТОВКА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ К МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМУ ПЕРЕДЕЛУ

УДК 669.162.1: 669.046

Ширяева Е.В., Подгородецкий Г.С., Малышева Т.Я., Горбунов В.Б.

## ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ОФЛЮСОВАННОГО АГЛОМЕРАТА ПРИ ДОБАВКАХ НИЗКОЩЕЛОЧНОГО КРАСНОГО ШЛАМА

**Аннотация.** Установлено влияние низкощелочного красного шлама на минералогический состав и физико-механические свойства агломератов из руд железистых кварцитов ОАО «Уральская Сталь». На стадии грануляции добавка тонкодисперсной массы низкощелочного красного шлама изменяет соотношение мелкой и крупной фракции шихты в сторону увеличения крупной. Рост прочности и снижение истираемости агломератов происходит за счет замены в их составе силикатных связей на ферритные.

**Ключевые слова:** красный шлам, агломерация, аглочаша, аглошихта, низкощелочной красный шлам, прочность на удар, истираемость, ферритная связка, силикатная связка.

Упрочнение железорудного сырья в процессе термической обработки определяется при прочих равных условиях образованием определенной минералогической структуры. Связки рудных зерен, являясь основными носителями прочности готового агломерата, должны удовлетворять техническим требованиям сырья как при транспортировке, так и при восстановительно-тепловой обработке. Для получения прочного сырья требуется поиск резерва производства.

Решение задачи управления минералообразованием в процессе производства железорудного сырья является основной целью при получении продукта с оптимальными металлургическими свойствами. Одним из методов решения подобных задач является применение различных добавок в шихту агломератов и окатышей [1-3].

В данной работе изучено влияние низкощелочного красного шлама на минералогический состав и прочностные свойства агломерата, полученного в лабораторных условиях из шихты агломерационного производства ОАО «Уральская Сталь», в составе которой преобладают тугоплавкие руды железистых кварцитов. Спекание агломерата выполнено на аглочаше при постоянном составе рудной части шихты (57% михайловского концентрата, 29% бакальской аглоруды, 2,3% окалины, 3,3% мелочи брикетов, 1,3% колошниковой пыли, 5% отсева агломерата, 2,1% собственного шлама КОШ, возврата 28%). В опытных спеканиях основность шихты поддерживалась равной ( $B=1,65$ ). Содержание красного шлама в опытах менялось от 1 до 7% с шагом 2%.

Низкощелочной красный шлам (НКШ) получен взаимодействием красного шлама Уральского алюминиевого завода с известковым молоком в реакторе проточного типа при температуре 80°C (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав низкощелочного красного шлама

Определяемый элемент	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Содержание элементов, % масс.	36,8	7,9	21,9	10,8	0,8	0,15	0,85	3,8	0,75

Используемый в работе красный шлам представляет собой мелкодисперсную массу сложного состава. Настоящее исследование преследовало цель путем реакционноспособной добавки НКШ снизить температуру начала плавления в процессе спекания агломерата.

Первоначально влияние низкощелочного красного шлама на процесс окомкования агломерационной шихты исследовано методом рассева на фракции: +5; 2,5 – 5; –2,5 мм. Результаты свидетельствуют о том, что с увеличением количества добавки НКШ снижается содержание мелкой фракции – 2,5 мм и растет содержание крупных фракций.

В качестве интегрального показателя степени окомкования шихты использован среднегармонический диаметр гранул  $d_g$ , рассчитанный по данным рассева [4]:

$$d_g = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{d_i} \frac{q_i}{\sum q_i}}; \quad d_i = \frac{d_- + d_+}{2}$$

где  $q_i$  – содержание частиц  $i$ -й фракции, д.ед.;

$d_i$  – диаметр  $i$ -й фракции, мм;

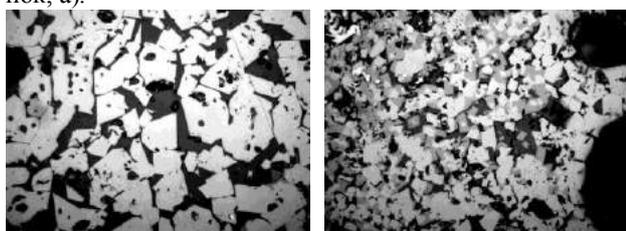
$d_-$  и  $d_+$  – нижний и верхний размер гранул фракции.

Результаты расчета эквивалентного диаметра гранул ( $d_g$ ) шихты с различным количеством красного шлама свидетельствуют об увеличении степени окомкования исходной шихты с ростом количества добавляемого НКШ.

Для определения минерального состава агломерата с различными добавками НКШ после окончания

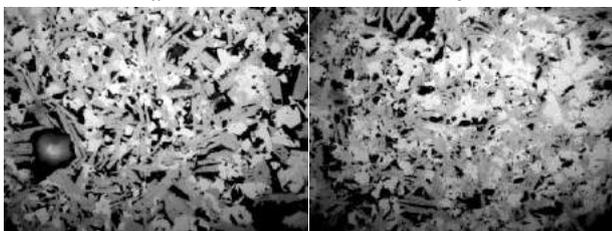
процесса спекания и охлаждения вручную отбирались пробы преимущественно из нижних слоев аглопирага, где глубина взаимодействия компонентов шихты была максимальной.

Установлено, что во всех пробах базового агломерата рудная фаза представлена магнетитом  $Fe_3O_4$ , связкой магнетитовых кристаллов является стеклофаза. Практически все исследованные образцы базового агломерата представляют собой двухфазную минеральную систему: магнетит – силикатная связка (см. рисунок, а).



а

б



в

г

Минеральный состав и микроструктура агломерата. Магнетит белый, феррит серый, стеклофаза темно-серая. Отраженный свет, х 500:

а – базовый агломерат; б – агломерат с 3% НКШ; в – агломерат с 5% НКШ; г – агломерат с 7% НКШ

При добавлении в аглошихту одного процента красного шлама меняется только состав и микроструктура стеклофазы. В её объёмах появляются мелкие кристаллы ферритной фазы, образовавшиеся при охлаждении железосиликатного расплава. В силикатной связке отсутствуют контакты феррита с магнетитом, поэтому носителем прочности агломерата остаётся стеклофаза, армированная игольчатыми кристаллами феррита.

Увеличение в составе аглошихты красного шлама до трёх процентов заметно меняет направление минералообразования агломерата в целом. Агломерат превращается в трехкомпонентную минеральную композицию, состоящую из магнетита, феррита и стеклофазы. Меняется роль ферритной фазы. Ее пластинчатые кристаллы, образовавшиеся на контакте магнетита с железосиликатным расплавом, становятся основной связкой рудных зерен. Количество остаточного расплава в виде стеклофазы наблюдается в петлях ферритных кристаллов (см. рисунок, б).

Микроструктура агломератов принципиально меняется при увеличении в их составе обесщелоченного красного шлама до пяти и семи процентов. В этом случае в процессе расплавообразования в зонах жидко-

фазного спекания агломерата компоненты красного шлама становятся определяющими. При этом происходит перераспределение рудных и силикатных компонентов в составе железосиликатного расплава. На стадии охлаждения агломерата на контакте железосиликатного расплава и окисляющихся с поверхности зерен магнетита зарождаются и растут кристаллы алюмосиликоферритной фазы, выполняя в этом случае роль связки рудных зерен (см. рисунок, в, г). Соотношение магнетита, феррита и стеклофазы в объемах агломератов с пятью и семью процентами низкощелочного красного шлама зависит от количества введенной в состав шихты добавки. При этом в исследованных образцах агломератов общее количество ферритных связок преобладает над стеклофазой.

Качественное и количественное изменение микроструктуры агломератов с добавками низкощелочного красного шлама подтверждается результатами анализа минерального состава методом мессбауэровской спектроскопии. Чётко подтверждаются фазовые превращения рудных, ферритных и силикатных фаз при изменении химического состава агломератов. Начало процесса ферритообразования связок агломератов уже при одном проценте красного шлама сопровождается снижением количества магнетита, поскольку на образование алюмосиликоферрита расходуется железо магнетита. Увеличение в связках ферритной фазы является причиной снижения в агломератах количества стеклофазы. Это связано с тем, что оксид кремния входит в состав алюмосиликоферрита техногенного сырья до 10 масс. %.

Особый интерес представляет сравнительный анализ механических свойств агломератов (табл.2).

Таблица 2  
Механические свойства агломерата с добавками НКШ, % (по массе), ГОСТ 15137-77

Фракция, мм	Агломерат				
	Базовый	1%	3%	5%	7%
+ 5	61,6	63,5	66,1	74,3	69,1
- 0,5	7,6	7,9	6,6	4,3	5,8

Тенденция изменения прочности агломератов с изменением количества добавки НКШ очевидна. Так, при заметном уменьшении в агломерате связки в виде стеклофазы и появлении связки ферритной (3% НКШ) выход фракции «+5 мм» возрастает с 61,6 до 66,1%, а доля фракции «-0,5 мм» уменьшается с 7,6 до 6,6%. Особенно ярко влияние НКШ на прочностные свойства готовой продукции при добавке 5%. Прочность по сравнению с базовой возрастает на 12,7%, а истираемость уменьшается на 1,8%.

Таким образом, при спекании многокомпонентной шихты на основе аглоруд и концентратов железистых кварцитов установлен механизм упрочнения агломератов с добавкой низкощелочного красного шлама. Тонкодисперсная масса низкощелочного

красного шлама в высокотемпературной зоне спекания переходит в железосиликатный, меняя направление минералообразования связок рудных зерен. При добавках НКШ силикатная связка агломератов постепенно заменяется связкой высокожелезистой – ферритной, а увеличение содержания в связке ферритов и снижение при этом количества стеклофазы сопровождается ростом прочностных свойств агломератов.

1. Вегман Е.Ф. Теория и технология агломерации. М.: Металлургия, 1974. 288 с.
2. Коротич В.И., Фролов Ю.А., Бездежский Г.Н. Агломерация рудных материалов. Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2003. 400 с.
3. Малышева Т.Я. Железородное сырье: упрочнение при термообработке. М.: Наука, 1988. 198 с.
4. Кривенко С.В. Анализ полидисперсности сыпучих материалов // Наукові праці ДонНТУ. Металургія. 2009. Вип. 11 (159). С. 13-23.

### Список литературы

#### Сведения об авторах

**Ширяева Елена Владимировна** – аспирант, вед. инженер-программист каф. ЭРЧМ НИТУ «МИСиС», г. Новотроицк. E-mail: shiryaevalena@gmail.com

**Малышева Татьяна Яковлевна** – канд. геол.-минер. наук, вед. эксперт каф. ЭРЧМ НИТУ «МИСиС», г. Новотроицк.

**Подгородецкий Геннадий Станиславович** – доц., канд. техн. наук, зав. каф. ЭРЧМ НИТУ «МИСиС», г. Новотроицк. E-mail: podgs@misis.ru

**Горбунов Владислав Борисович** – доц., канд. техн. наук, каф. ЭРЧМ НИТУ «МИСиС», г. Новотроицк. E-mail: gorbunov@misis.ru



УДК 669.1.022

Шаповалов А.Н., Овчинникова Е.В., Майстренко Н.А.

## КАЧЕСТВО ПОДГОТОВКИ АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ШИХТЫ К СПЕКАНИЮ В УСЛОВИЯХ ОАО «УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ»

**Аннотация.** Выполнен анализ условий работы и показателей агломерационного производства в условиях ОАО «Уральская Сталь». Проанализированы условия подготовки агломерационной шихты к спеканию. Установлены основные технические и технологические факторы, ограничивающие показатели агломерационного производства. Предложены направления совершенствования технологии подготовки шихты к спеканию в условиях ОАО «Уральская Сталь». В условиях лимита материальных ресурсов на техническое перевооружение особое внимание следует уделять совершенствованию технологии подготовки агломерационной шихты за счет таких направлений, как оптимизация гранулометрического состава и расхода обожженной извести, а также улучшение связующих свойств воды, подаваемой при увлажнении, за счет добавок поверхностно-активных веществ.

**Ключевые слова:** агломерационная шихта, гранулометрический состав, смешивание, окомкование, агломерация.

Производство агломерата в ОАО «Уральская Сталь» осуществляется на четырех агломашинах площадью спекания 84 м<sup>2</sup> (суммарная площадь спекания 336 м<sup>2</sup>). Усредненные показатели работы агломерационного цеха ОАО «Уральская Сталь» за период с ноября 2010 по октябрь 2012 представлены в табл. 1.

Как следует из данных табл. 1, показатели работы агломерационного цеха ОАО «Уральская Сталь» как по производительности, так и по качеству агломерата не отвечают современным требованиям доменного производства. Это главным образом, объясняется несовершенством существующей технологии подготовки агломерационной шихты к спеканию, не обеспечивающей должной эффективности смешивания и

окомкования шихты, особенно в условиях повышенной доли тонкозернистых концентратов. Это в совокупности с низким разрежением в коллекторе и температурой шихты (особенно в зимний период) не позволяет работать на высоком слое и ограничивает как производительность, так и качественные показатели агломерата.

В условиях действующего агломерационного производства качество подготовки аглошихты, характеризующееся однородностью химического состава и газопроницаемостью шихты [1–4], определяется параметрами работы технологического оборудования, физико-химическими свойствами компонентов шихты и их соотношением.

Таблица 1

Усредненные среднемесячные показатели работы агломерационного цеха

Показатели	Среднее за период*
Удельная производительность, т/(м <sup>2</sup> ·ч)	0,930-1,154 / 1,095
Содержание концентратов в шихте, %**	59,39-66,38 / 62,81
Разрежение в коллекторе, мм в. ст.	483-602 / 556
Содержание класса 0-3 мм в известняке, %	94,0-95,1 / 94,9
Содержание класса 0-3 мм в коксике, %	90,0-91,2 / 90,6
Высота слоя шихты, мм	248-295 / 266
Содержание возврата в шихте, мм	24,1-27,5 / 26,2
Температура шихты, °С	40-61 / 51
Содержание в шихте горюч. углерода, %	3,71-5,09 / 4,08
Содержание влаги в шихте, %	6,93-7,97 / 7,24
Расход извести, кг/т	17,9-34,8 / 29,0
Содержание железа в агломерате, %	50,3-54,1 / 52,07
Основность агломерата по CaO/SiO <sub>2</sub> , ед.	1,35-1,85 / 1,65
Укладка по железу (± 1,0 %), %	78,9-99,2 / 91,50
Укладка по основности (± 0,1 ед.), %	71,5-94,6 / 85,73
Содержание мелочи (фр. 0-5 мм), %	15,1-17,1 / 16,2
Показатели прочности, %: удар	65,0-72,3 / 68,26
стираемость	4,9-5,4 / 5,19

\* В числителе – интервал изменения, в знаменателе – среднее значение.  
 \*\* Концентраты Михайловского и Лебединского ГОКов.

**Анализ гранулометрического состава компонентов аглошихты.** Гранулометрический состав компонентов агломерационной шихты определялся рассевом проб (по 10 проб каждого материала) массой по 8–10 кг, отобранных в течение октября 2012 г. из бункеров корпуса дозировки. Данные о гранулометрическом составе основных компонентов агломерационной шихты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Гранулометрический состав компонентов агломерационной шихты

Материал	Содержание фракции, %*				
	+10 мм	10-5 мм	5-3 мм	3-0,5 мм	0,5-0 мм
Аглоруда БРУ	6,7-11,6 8,81	13,6-16,8 14,74	11,6-14,3 12,88	36,3-45,1 41,52	19,3-24,6 22,05
Аглоруда МГОКа	12,8-19,7 16,76	10,8-15,7 13,20	6,4-10,2 8,61	18,4-24,2 21,8	37,9-42,4 39,64
Известняк	0,0	0,0-4,8 1,20	8,2-16,4 10,73	46,4-58,6 51,76	32,4-38,7 36,31
Известь	23,9-31,6 27,95	39,1-51,7 43,44	9,4-20,4 15,51	6,3-10,7 9,04	2,1-5,0 4,06
Коксовая мелочь	0,0	2,2-8,6 5,17	7,9-15,4 12,10	47,4-57,4 52,28	26,1-33,1 30,45
Возврат	3,1-6,5 4,69	26,9-8,6 34,20	8,9-23,8 18,87	27,6-39,0 33,47	6,4-11,2 8,76

\* В числителе – интервал изменения, в знаменателе – среднее значение.

Анализ данных о гранулометрическом составе компонентов агломерационной шихты (табл. 2) позволяет выделить основные причины, ухудшающие подготовку шихты к спеканию:

- неэффективный, с точки зрения окомкования, гранулометрический состав аглоруд, характеризующийся большим количеством крупных фракций (+10 мм) и мелочи (0,5–3 мм);
- высокое содержание крупных фракций (+3 мм) в извести, что наряду с низкой степенью ее обжига (40–60%) существенно снижает эффективность ее применения в качестве интенсификатора процесса окомкования;
- высокое содержание фракции +3 и 0-0,5 мм в коксовой мелочи, что снижает эффективность ее использования [5] и отрицательно сказывается на структуре и свойствах агломерата [3, 4].

Несмотря на имеющиеся недостатки гранулометрического состава компонентов аглошихты, решающую роль в подготовке ее к спеканию играют технологические условия смешивания и окомкования. В аглоцехе ОАО «Уральская Сталь» смешивание и окомкование аглошихты проводится в две стадии в аппаратах барабанного типа диаметром 2,8 м и длиной 6 м.

Для оценки эффективности смешивания проведен эксперимент по определению динамики однородности аглошихты, которую оценивали величиной коэффициента однородности ( $K_o$ ) [4] по железу, оксиду кальция и общему углероду. В период проведения эксперимента в работе находились три агломашинны и средняя нагрузка на смеситель составляла 340 т/ч, а на окомкователь – 110–115 т/ч.

Во время проведения эксперимента (октябрь 2012 г.) проводился отбор проб агломерационной шихты в 5 точках технологической схемы (перед смесителем, после смесителя, перед окомкователем, после окомкователя и при загрузке на паллеты) с последующим их анализом. Результаты эксперимента приведены в табл. 3.

Таблица 3

Усредненные показатели коэффициента однородности агломерационной шихты на различных участках технологической цепочки, %

Показатель	Место отбора проб				
	Смеситель		Окомкователь		На паллете
	до	после	до	после	
$K_o^{Fe}$	60,75	86,35	87,5	88,2	87,6
$K_o^{Собщ}$	59,55	79,65	84,15	83,35	82,2
$K_o^{Ca}$	58,55	83,85	83,2	85	83,7

Полученные данные (см. табл. 3) позволяют заключить, что смешивание аглошихты происходит практически только в смесительном барабане, а на остальном участке технологической схемы однородность шихты практически не изменяется, что согласуется с данными работ [4, 6]. При этом средняя степень однородности агломерационной шихты, загружаемой на паллеты, за время проведения исследования составила 84,5% (изменяясь от 82,2% для углерода до 87,6% для железа), что является вполне приемлемым показателем для барабанного смесителя. Однако полученные данные относятся к периоду работы смесителя на  $\frac{3}{4}$  обычной загрузки с тремя агломашинами, и при полной загрузке барабанного смесителя можно ожидать ухудшения качества смешивания, что снижает стабильность условий спекания и ведет, в конечном итоге, к повышенным колебаниям химического состава агломерата, отмеченным ранее (см. табл. 1). Низкая эффективность смешивания может объясняться повышенными нагрузками на смесительное оборудование и нерациональным режимом подачи воды на увлажнение. Так, даже в период проведения исследования при работе с тремя агломашинами время пребывания аглошихты в смесительном барабане, определяемое экспериментальным путем, не превышало 2 мин, при степени заполнения смесителя (без учета гарнисажа) 16,1%. Таким образом, действующий смеситель агломерационной шихты работает с превышением предельной нагрузки, чем и объясняется ограниченная эффективность смешивания аглошихты.

Для оценки динамики процесса окомкования в барабанных грануляторах измеряли влажность и гранулометрический состав шихты на входе в окомкователь, по длине барабана (в середине и на выходе) и при загрузке на паллеты. Исследования проводили в октябре 2012 г. на технологической линии агломашины №3 при нагрузке на окомкователь 113 т/ч. Результаты исследования представлены в табл. 4.

Таблица 4  
Усредненные параметры агломерационной шихты  
в процессе окомкования

Параметр	Место отбора пробы					
	Исходная шихта	До окомкователя	По длине барабана-окомкователя		На агломашине	
			В середине	На выходе		
Влажность, %	4,51	5,30	6,80	7,80	7,50	
Содержание классов, %	+10 мм	5,35	7,14	9,90	9,05	7,78
	5-10 мм	6,19	7,28	10,58	10,61	11,12
	3-5 мм	10,53	9,63	13,71	17,06	16,94
	0-3 мм	77,95	75,96	65,82	63,30	64,16
	1-3 мм	20,54	23,10	28,33	31,96	35,34
	0-1 мм	57,41	52,53	41,28	31,35	28,83
Средний диаметр, мм	2,70	2,93	3,52	3,52	3,41	

Исходя из замеров толщины слоя аглошихты по длине барабана степень заполнения окомкователя со-

ставила 19,6% при времени пребывания материалов в барабане 2,2 мин. Опытные замеры продолжительности окомкования подтверждают расчетные значения.

Как следует из данных табл. 4, наиболее интенсивно процесс грануляции аглошихты идет в первой половине барабана-окомкователя. На оставшейся длине барабана гранулометрический состав аглошихты практически не изменяется, о чем свидетельствует постоянный средний (эквивалентный) диаметр комочков.

Таким образом, при нагрузке на окомкователь 110–115 т/ч и текущем режиме его работы создаются приемлемые условия окомкования, обеспечивающие продолжительность пребывания материалов в барабане более 2 мин. При этом применяемая струйная система увлажнения приводит к образованию крупных гранул и комков, в то время как часть шихты остается неокомкованной, что снижает газопроницаемость спекаемого слоя и производительность агломашин.

**Выводы.** Проведенный анализ качества подготовки агломерационной шихты к спеканию в условиях ОАО «Уральская Сталь» показал, что, несмотря на ряд существенных недостатков, при существующем техническом оснащении агломерационного цеха и принятой технологии агломерации результаты подготовки аглошихты к спеканию удовлетворительны. Это во многом связано с достаточно низкой долей тонкозернистых концентратов (60–65%) и высоким расходом возврата (25–27%), что предопределяет значительное количество комкующей фракции (1,5–6 мм) в аглошихте. Основными способами улучшения качества подготовки аглошихты в сложившихся технических условиях ОАО «Уральская Сталь», особенно при увеличении доли концентрата, являются:

- изменение свойств шихты за счет оптимизации гранулометрического состава компонентов аглошихты, особенно извести, а также аглоруды и топлива;
- оптимизация расхода извести как компонента, интенсифицирующего окомкование (особенно в зимний период) или применение других добавок, активизирующих окомкование;
- улучшение комкуемости шихты за счет применения поверхностно-активных веществ, подаваемых с водой при увлажнении;
- изменение режима увлажнения аглошихты при смешивании и окомковании за счет применения пневматических форсунок, обеспечивающих тонкое распыление воды;
- обеспечение оптимальной длительности увлажнения при окомковании – в течение 2/3–3/4 общего времени пребывания шихты в барабане [4];
- увеличение диаметра и длины барабана-смесителя, что позволит снизить нагрузку на смеситель и увеличить время смешивания материалов;
- увеличение динамических нагрузок в окомкователе за счет увеличения диаметра барабана.

Таким образом, проведенный анализ условий работы агломерационного производства ОАО «Уральская Сталь» и технологии подготовки шихты к спека-

нию позволил выявить ряд проблем и наметить пути их решения. Комплексное решение всех выявленных проблем возможно только при серьезной модернизации агломерационного цеха ОАО «Уральская Сталь». В условиях лимита материальных ресурсов на техническое перевооружение особое внимание следует уделять совершенствованию технологии подготовки агломерационной шихты за счет таких направлений, как оптимизация гранулометрического состава и расхода обожженной извести, а также улучшение связующих свойств воды, подаваемой при увлажнении, за счет добавок поверхностно-активных веществ.

#### Список литературы

1. Сальников И.М., Пазюк М.Ю. Повышение стабильности подготовки железорудных материалов к окискованию // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 1991. № 1. С. 1–2.

#### Сведения об авторах

**Шаповалов Алексей Николаевич** – канд. техн. наук, доц. кафедры металлургических технологий НФ НИТУ «МИСиС», г.Новотроицк. Тел.: 8(919)8573273. E-mail: alshapo@yandex.ru.

**Овчинникова Елена Владимировна** – аспирант НФ НИТУ «МИСиС», г.Гай. Тел.: 8(903)3910243. E-mail: elenka.ov4innikova@narod.ru.

**Майстренко Николай Анатольевич** – нач. аглодоменной лаборатории, ОАО «Уральская Сталь», г.Новотроицк. Тел.: 8(905)8155171. E-mail: koldeban@mail.ru.



УДК 669.2+621.8

Нефедов А.В.

## О ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА МОНОХРОМАТА НАТРИЯ ЦЕХА №1 ОАО «НЗХС»

**Аннотация.** Объектом исследования данной работы является редуктор привода барабана шаровой мельницы сухого помола цеха №1 Новотроицкого завода хромовых соединений. В настоящее время используется редуктор цилиндрический с косозубым зацеплением и с ассиметричным расположением колёс и зубчатых шестерен относительно подшипниковых узлов.

В предлагаемой разработанной конструкции используется модель редуктора, где входной вал-шестерня и выходной вал с колесом находятся на одной оси и наличие в зацеплении осевых сил уравнивается в самом зубчатом зацеплении. Симметричное расположение нагрузки относительно опор равномерно нагружают подшипниковые узлы.

**Ключевые слова:** барабан измельчения, муфта зубчатая, подшипниковый узел, редуктор с косозубым цилиндрическим зацеплением, шаровая мельница сухого помола.

ОАО «Новотроицкий завод хромовых соединений» – предприятие химической технологии и металлургии. Основные виды продукции технического назначения, выпускаемые предприятием: бихромат натрия технический, ангидрид хромовый технический, окись хрома пигментная, окись хрома металлургическая, крон свинцовый, металлический хром, натрий сернокислый технический, щебень из шлака металлического хрома, феррохром низкоуглеродистый.

В металлургической и химической промышленности качество готовой продукции зависит от протекания химической реакции, а для лучшего взаимодей-

2. Повышение эффективности смешивания аглошихты / Лепихин Л.А., Алешин А.А., Юсупов Р.Б., Полушкин М.Е. // *Черная металлургия. Бюл. науч.-техн. информации*. 1992. № 11. С. 29–30.
3. Вегман Е.Ф. Окискование руд и концентратов. М.: Металлургия, 1968. 258 с.
4. Коротич В.И., Фролов Ю.А., Бездежский Г.Н. Агломерация рудных материалов. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2003. 400 с.
5. Влияние качества подготовки шихты на прочность агломерата / Пазюк М.Ю., Погорелов В.Н., Гранковский В.И. и др. // *Изв. вузов. Черная металлургия*. 1985. № 4. С. 21–24.
6. Эффективность смешивания агломерационных шихт / Коморников Г.И., Конев В.И., Бутивченко В.Н. и др. // *Сталь*. 1972. №7. С. 580–582.

ствия химических веществ необходимо увеличить площадь их соприкосновения, что осуществляется путем их измельчения [1]. С данной задачей в ОАО «НЗХС» прекрасно справляются шаровые мельницы.

Рассматриваемая шаровая мельница, задействованная в технологическом цикле производства монохромата натрия для измельчения твердых кусков хромитовой и доломитовой руды, находится в размоленном отделении цеха №1 химико-металлургического предприятия ОАО «Новотроицкий завод хромовых соединений».

На предприятие сырьё доставляют железнодорожным транспортом. В цехе №1 производства монокромата натрия, где находится Размольное отделение, принимают два вида руды: хромитовую и доломитовую.

На рис. 1 схематически изображено расположение оборудования Размольного отделения цеха №1 производства монокромата натрия.

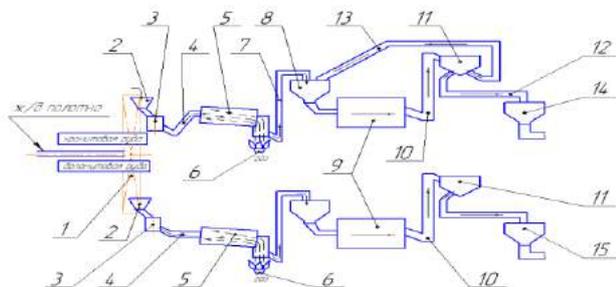


Рис. 1. Схема расположения оборудования Размольного отделения цеха №1 производства монокромата натрия

Выгрузку полувагонов производят грейфером на сырьевой склад, затем, с помощью грейферного крана 1, материал перегружают в приёмные бункера 2. По первой нитке отделения: с приёмного бункера, где находится хромитовая руда, с помощью лоткового питателя сырьё попадает в щековые дробилки 3, где происходит первое дробление крупных комьев материала. По транспортёрной ленте 4 руда перемещается в сушильный барабан 5, где материал сушат, продувая горячим воздухом до определённой степени влажности с помощью газовой горелки 6, далее она попадает в элеватор 1. Из элеватора руда перемещается в промежуточный бункер 8, откуда с помощью лоткового питателя происходит дозированная загрузка шаровой мельницы сухого помола 9.

В барабане шаровой мельницы материал измельчают стальными шарами и через разгрузочный шнек он перемещается в следующий элеватор 2. Далее руда проходит через сепаратор 11, где происходит отсев мелкой фракции, именно мелкая фракция хромитовой руды по прямому аэрозелобу 12 перемещается в бункер хромита 14 в отделение подготовки шихты, а крупная фракция возвращается в барабан шаровой мельницы для повторного измельчения по возвратному желобу 13.

По второй нитке отделения: с приёмного бункера, где находится доломитовая руда, с помощью лоткового питателя сырьё попадает в щековые дробилки. Там происходит первое дробление крупных комьев материала. По транспортёрной ленте он перемещается в сушильный барабан, где материал сушат, продувая горячим воздухом до определённой степени влажности, далее он попадает в элеватор. Из элеватора руда перемещается в промежуточный бункер, откуда с помощью лоткового питателя происходит дозированная загрузка шаровой мельницы.

В барабане шаровой мельницы материал измельчают стальными шарами и через разгрузочный шнек

он перемещается в следующий элеватор. Из элеватора сухая и измельченная доломитовая руда перемещается в бункер доломита 15 в отделение подготовки шихты.

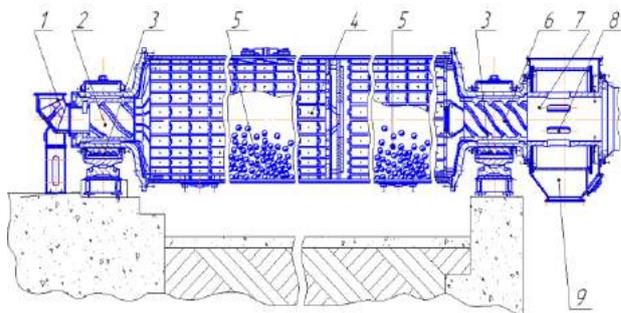


Рис. 2. Барабан шаровой мельницы сухого помола

Барабан мельницы находится под углом  $5^{\circ}$  к горизонту для самопроизвольного перемещения материала внутри барабана. Загрузка руды – через загрузочный лоток 1, а выгрузка измельченного продукта производится через полые цапфы 8 и разгрузочный лоток 9. После загрузки руда попадает в шнек 2 и перемещается в первое отделение барабана мельницы, где многократно подвергается воздействию мелющих тел, то есть стальных шаров 5, что приводит к ее измельчению. Куски руды, измельченные до определённого размера, благодаря наклону барабана просеиваются сквозь решётку, разделяющую два отделения. Просеянные куски повторно подвергаются ударам и истиранию стальных шаров. На интенсивность и механизм размола оказывают сильное влияние скорость вращения барабана мельницы, число и размер размольных тел, масса измельчаемого материала, продолжительность и среда размола. С увеличением скорости вращения барабана мельницы размольные тела падают с большей высоты, производя главным образом дробящее действие. При дальнейшем увеличении скорости вращения барабана размольные тела будут вращаться с барабаном, и материал будет измельчаться незначительно. Эту скорость называют критической скоростью вращения.[2]

Загрузка измельчаемого материала производится самотеком через загрузочное устройство, расположенное по оси мельницы. Выгрузка производится через отверстия во фланце барабана, которые обеспечивают разделение мелющих тел и измельчаемого материала, а также его выгрузку через течку. Установка требуемого режима помола достигается изменением угла наклона барабана.

Задачей установления оптимального режима помола является достижение максимальной производительности и требуемой тонины помола при минимальном расходе электроэнергии. Производительность мельницы зависит от твердости перемалываемого материала, загружаемой фракции и требуемой тонкости помола.

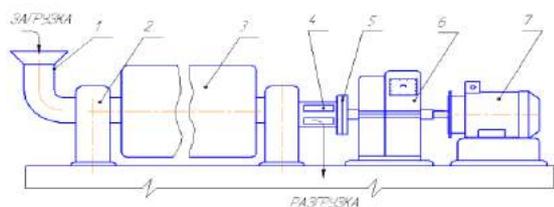


Рис. 3. Конструктивная схема шаровой мельницы:  
1 – загрузка руды; 2 – подшипниковый узел; 3 – барабан измельчения; 4 – окна выгрузки измельчённой руды;  
5 – муфта зубчатая; 6 – редуктор;  
7 – электродвигатель

Для передачи энергии от двигателя к барабану с изменением угловой скорости и вращающего момента в данном приводе, изображённом на рис. 4, используют специальный редуктор, который состоит из цилиндрических колёс с косозубым зацеплением.

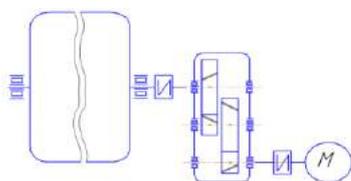


Рис. 4. Кинематическая схема существующего привода барабана шаровой мельницы

В проекте рассмотрена эффективность внедрения конструктивных изменений в редуктор с косозубым цилиндрическим зацеплением и ассиметричным расположением зубчатых колёс относительно подшипниковых узлов.

Наличие в зацеплении осевых сил, которые дополнительно нагружают опоры валов, является недостатком косозубых колёс. Этот недостаток устраняется в шевронной передаче, которая подобна сдвоенной косозубой передаче с противоположным направлением зубьев. Осевые силы здесь уравниваются на самом зубчатом колесе [3].

В предлагаемой модели редуктора, в соответствии с рис. 5, входной вал-шестерня и выходной вал с колесом находятся на одной оси и наличие в зацеплении осевых сил уравнивается в самом зубчатом зацеплении.

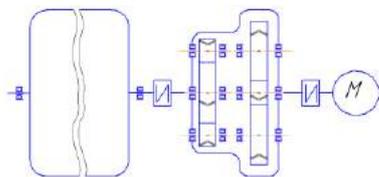


Рис. 5. Кинематическая схема редуктора

Симметричное расположение нагрузки относительно опор равномерно нагружают подшипниковые

#### Сведения об авторе

Нефедов Андрей Викторович – к.п.н., зав. кафедрой «Оборудование металлургических предприятий» НФ НИТУ «МИСиС», г. Новотроицк. E-mail: [cosnovotr@rambler.ru](mailto:cosnovotr@rambler.ru).



узлы. При передаче момента вращения на первой ступени предлагаемого редуктора быстроходная вал-шестерня передаёт вращение сразу в двух направлениях на колёса промежуточного вала, расположенные симметрично с двух сторон относительно её оси, что уравнивает осевое смещение, снижая нагрузки, так как динамические нагрузки возрастают пропорционально квадрату скорости. [4]

Колесо тихоходного вала проектируемого редуктора также получает момент вращения с двух сторон симметрично расположенных от него шестерен промежуточных валов. Такое расположение снижает осевое смещение, при этом значительно увеличивает мощность на выходном валу редуктора.

Рассматривая косозубые передачи, мы отмечаем плавность зацепления, так как в зацеплении всегда находится минимум две пары зубьев. При шевронном зацеплении их количество увеличивается, но в новой модели редуктора с симметричным расположением промежуточных валов количество зубчатых пар, одновременно находящихся в зацеплении, увеличивается в несколько раз, от чего в несколько раз снизится нагрузка на зубья. Это ведёт к значительному снижению износа зубьев, а значит, увеличивает срок службы данного агрегата. Плавность зацепления также ведёт к снижению шума и динамических нагрузок в поле зацепления, а увеличение мощности на выходном валу может сэкономить мощность, потребляемую электродвигателем [5].

Проведенные технико-экономические расчеты элементов проектируемого агрегата и внедрения разработанного проекта показали, что это приведет к увеличению межремонтного периода, срока эксплуатации оборудования, снижению уровня шума во время работы механизма тем самым улучшению условий труда обслуживающего персонала, а следовательно, к возможности модернизации шаровой мельницы сухого помола.

#### Список литературы

1. Басов А.И. Механическое оборудование обогатительных фабрик и заводов тяжелых цветных металлов. М.: Металлургия, 1984. 168 с.
2. Машины и агрегаты для подготовки шихтовых материалов: учебник для вузов / Заводяный А.В., Нефедов А.В., Чиченев Н.А., Шур И.А. Орск: Изд-во Орского гуманитарно-технологического института (филиала) ОГУ, 2013. 157 с.
3. Гуревич Ю.Е., Выров Б.Я. Расчёты деталей машин: учеб. пособие. М.: Изд-во «Станкин», 2000. 89 с.
4. Курмаз Л.В., Скойбеда А.Т. Детали машин. Проектирование: справ. учеб.-метод. пособие. М.: Высш. шк., 2004. 309 с.
5. Чиченев Н. А., Свистунов Е. А. Расчет деталей и узлов металлургических машин. М.: Металлургия, 1985. 105 с.

УДК 669.162.1

Сибатуллин С.К., Гушин Д.Н., Харченко А.С., Гостенин В.А., Сенькин К.В.

## ПОВЫШЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА В АГЛОМЕРАТЕ ИЗМЕНЕНИЕМ СООТНОШЕНИЯ КОНЦЕНТРАТОВ ОАО «ММК» И ЛЕБЕДИНСКОГО ГОК ПО ЛАБОРАТОРНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ

**Аннотация.** В ОАО «ММК» повышение содержания железа в агломерате и в шихте доменных печей для улучшения их работы обеспечивают с учётом сопутствующих экстремальных изменений показателей агломерационного и доменного процессов по результатам лабораторных и промышленных исследований.

**Ключевые слова:** агломерация, железо, концентрат, производительность, качество агломерата.

Таблица 1

Химический состав основных компонентов агломерационной шихты

Компонент	Содержание, %								
	Fe	FeO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	P	S	TiO <sub>2</sub>	MgO
Аглоруда Стойленского ГОК	54,9	15,84	8,01	2,94	1,32	0,106	0,26	0,25	0,51
Концентрат ДОФ-5 ОАО «ММК»	61,2	28,00	6,65	2,18	2,89	0,015	0,78	0,78	0,97
Концентрат Лебединского ГОК	68,1	27,90	4,84	0,20	0,20	0,010	0,130	0,10	0,35

Повышение содержания железа в шихте доменных печей является одним из направлений улучшения показателей их работы [1]. Приводятся данные об изменении удельного расхода кокса и их производительности по интервалам повышения содержания железа [2] независимо от пути его обеспечения. Путь достижения может иметь значение в связи с положительными и отрицательными сторонами действия роста содержания железа на процесс окускования [1] и ход процессов в доменной печи [3–5]. Железорудные концентраты, как материалы с повышенным содержанием железа, различаются по химическому, минералогическому и гранулометрическому составу. Поэтому повышение содержания железа в агломерате и окатышах может сопровождаться различным изменением других показателей качества. Соответственно они отразятся на результатах доменной плавки. Степень влияния зависит, кроме того, от места расположения определяющей по силовому взаимодействию потоков шихты и газа зоны доменной печи.

Ранее исследовали процесс производства агломерата при повышении содержания железа в нём увеличением доли концентрата ССГПО за счёт сокращения доли аглоруды Михайловского ГОКа [6], позже за счёт сокращения доли концентрата ДОФ-5 ОАО «ММК» [7]. Изменение показателей качества получалось различным с наличием экстремумов. В связи с изложенными положениями продолжили эти исследования в направлении оценки действия соотношения концентратов ССГПО и Лебединского ГОКа.

На лабораторной установке ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И.Носова» [8] спекали шихту, включающую 70% концентрата и 30% аглоруды Стойленского ГОК. Различное содержание железа получали варьированием концентратами ДОФ-5 ОАО «ММК» и Лебединского ГОК. Основность агломерата во всех опытах была равной 1,6. Химический состав основных компонентов шихты представлен в табл. 1.

В исследовании применили трехфакторный план эксперимента Бокса – Бенкина [9] при варьировании на трех уровнях: Fe – содержание железа в смеси концентратов, C – содержание углерода в агломерационной шихте, W – её влажность.

Для математического описания выходного параметра от указанных факторов выбрано уравнение  $Y = b_0 + b_1 \cdot Fe + b_2 \cdot C + b_3 \cdot W + b_{12} \cdot Fe \cdot C + b_{13} \cdot Fe \cdot W + b_{23} \cdot C \cdot W + b_{11} \cdot Fe^2 + b_{22} \cdot C^2 + b_{33} \cdot W^2 + b_4 \cdot Fe \cdot C^2 + b_5 \cdot C \cdot Fe^2 + b_6 \cdot W \cdot Fe^2$ , где  $b_0, b_1, b_2, b_3, \dots$  – коэффициенты уравнения регрессии.

Выходными параметрами являлись:

- удельная производительность (УП, т/м<sup>2</sup>·ч);
- выход годного (ВГ, %);
- скорость спекания (V, мм/мин);
- прочность на удар, соответствующая ГОСТ 15137-77 (холодная прочность);
- содержание мелочи 0 – 5 мм;
- истираемость;
- показатели после нагрева в восстановительной среде при температуре 500°C (горячая прочность): прочность на удар, содержание мелочи 0–5 мм, истираемость.

Обработкой экспериментальных данных определили коэффициенты уравнения (1), значимость которых оценили по критерию Стьюдента. Полученные результаты представлены в виде следующих выражений и на рис. 1–3:

$$VII = 0,83 - 0,11 \cdot Fe + 0,2 \cdot C - 0,05 \cdot W + 0,09 \cdot Fe \cdot C + 0,002 \cdot Fe \cdot W + 0,03 \cdot C \cdot W - 0,09 \cdot Fe^2 + 0,007 \cdot C^2 - 0,2 \cdot W^2 + 0,08 \cdot Fe \cdot C^2 - 0,05 \cdot C \cdot Fe^2 - 0,03 \cdot W \cdot Fe^2; \quad (2)$$

$$BG = 72,4 - 5,65 \cdot Fe + 11,75 \cdot C + 6,76 \cdot W + 8,94 \cdot Fe \cdot C + 5,56 \cdot Fe \cdot W - 7,56 \cdot C \cdot W - 6,33 \cdot Fe^2 + 4,46 \cdot C^2 - 3,21 \cdot W^2 + 0,91 \cdot Fe \cdot C^2 + 3,37 \cdot C \cdot Fe^2 + 8,21 \cdot W \cdot Fe^2; \quad (3)$$

$$V = 18,75 - 1,42 \cdot Fe + 2,99 \cdot C - 1,65 \cdot W - 0,43 \cdot Fe \cdot C - 0,70 \cdot Fe \cdot W + 2,37 \cdot C \cdot W - 0,38 \cdot Fe^2 + 0,09 \cdot C^2 - 3,8 \cdot W^2 + 2,57 \cdot Fe \cdot C^2 - 3,41 \cdot C \cdot Fe^2 - 1,81 \cdot W \cdot Fe^2. \quad (4)$$

В приведенных уравнениях все факторы представлены в кодированной форме и изменяются от -1 до 1.

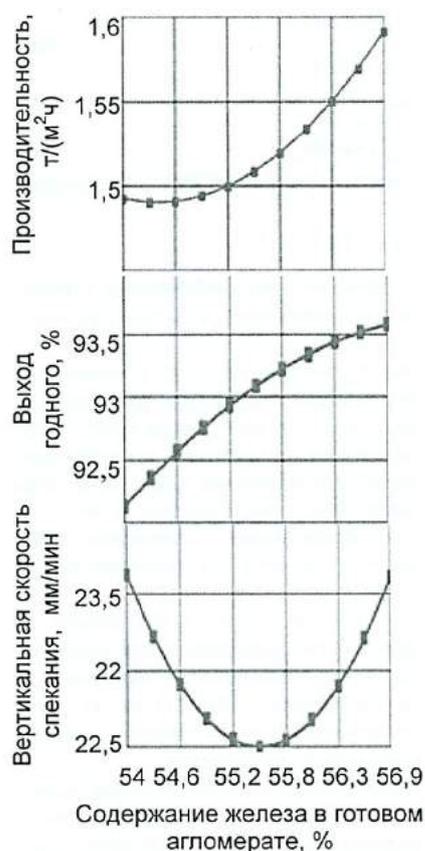


Рис. 1. Влияние увеличения содержания железа на производительность, выход годного и вертикальную скорость спекания агломерационной установки

Согласно рис. 1 с ростом содержания железа в агломерате производительность сначала несколько снижалась, а затем увеличивалась. Она составляла 1,48 т/(м²·ч) при содержании железа 54,3% и 1,59 т/(м²·ч) при 56,9%. Такой рост обеспечивался увеличением выхода годного агломерата. При отсутствии Лебединского концентрата выход годного со-

ставлял 92,1%, а при спекании агломерата без концентрата ДОФ-5 «ММК» – 93,6%. Общий прирост равен 1,5% абс. Скорость спекания изменялась экстремально с минимумом. Минимум приходился на 50% содержания концентратов Лебединского и ДОФ-5 «ММК».

Из рис. 2 видно, что с увеличением содержания железа с 54,0 до 55,2% прочность на удар повысилась на 0,40% отн., а при последующем его росте до 56,9% она снизилась на 1,06% отн. Содержание мелочи (класс 0–5 мм) уменьшалось на 1,6% отн., при увеличении содержания железа – до 55,2%, с последующим ростом до 56,9% увеличивалось на 4,5% отн. Истираемость агломерата с повышением содержания железа от 54 до 56,9% увеличивалась по зависимости, близкой к линейной, при общем приросте 72% отн.

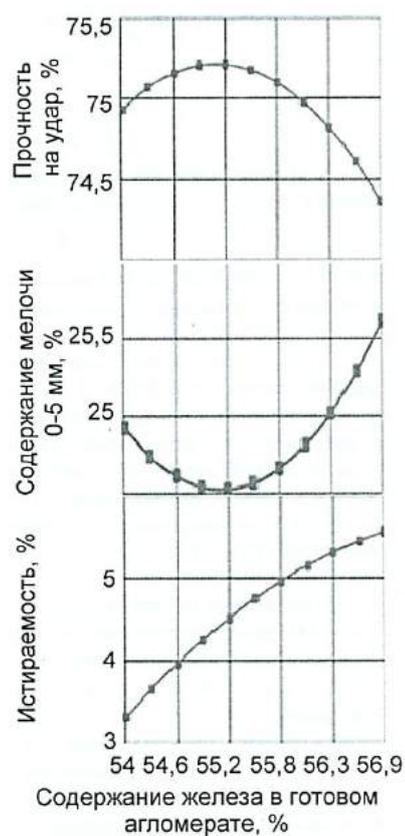


Рис. 2. Влияние увеличения содержания железа на показатели «холодной» прочности

На рис. 3 представлены характеристики «горячей» прочности агломерата. Для оценки этого критерия направляли агломерат, подвергнутый испытанию в установке по определению «холодной прочности», после которого вся мелочь класса 0–5 мм была полностью удалена.

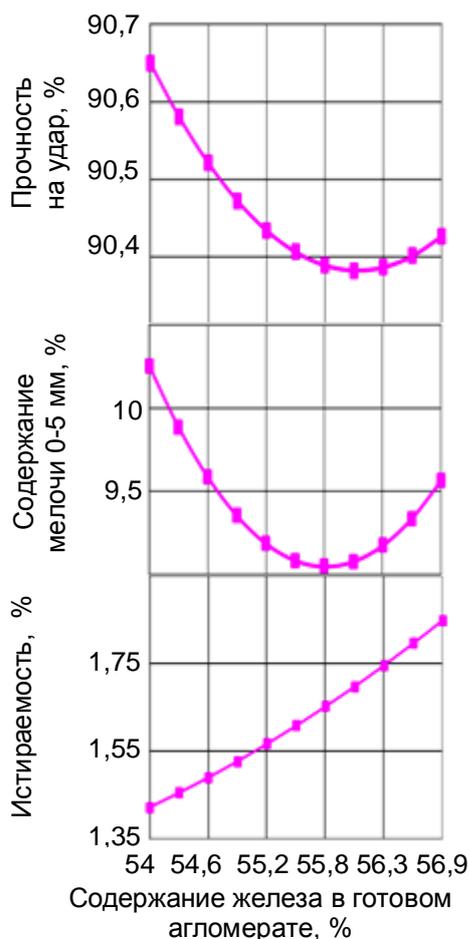


Рис. 3. Влияние увеличения содержания железа на показатели «горячей» прочности

С ростом содержания железа в годном агломерате от 54 до 56,05% прочность на удар снижалась с 90,65 до 90,38%, а с последующим увеличением до 56,9% возрастала до 90,43%. Содержание мелочи уменьшалось на 11,7% отн., при увеличении содержания железа до 55,8%, с последующим ростом до 56,9% прирост составлял 5,5% отн. Истираемость агломерата после химико-термической обработки непрерывно увеличивалась от 1,42 до 1,85%, прирост равен 30% отн.

Росту содержания железа в агломерате на 1% соответствовало увеличение его в смеси рассмотренных концентратов на 2,38%. Это соотношение получается иным для других путей повышения качества агломерата по богатству. Большинство показателей изменялось экстремально. Для удержания соответствующего показателя в области благоприятного экстремума (например, обеспечения максимальной прочности на удар) с повышением содержания железа после экстремума необходимо использовать одновременно другие мероприятия, компенсирующие негативные стороны действия богатства на отдельные стороны агломерационного процесса. По показателям, меняющимся изначально в неблагоприятном направлении (например,

повышение истираемости, уменьшение скорости спекания) такие мероприятия необходимо закладывать в комплекс выбранного направления повышения содержания железа на этапе планирования.

Из рассмотрения результатов исследований (см. рис. 1–3) видно, что одни показатели прочностных свойств агломерата изменяются в благоприятном направлении, другие – в неблагоприятном направлении. В таких условиях имеет значение приоритетность показателя качества. Для службы элементов загрузочного устройства доменной печи и выноса пыли наибольшее значение имеет истираемость, для хода процессов в печи при определяющей роли силового взаимодействия потоков шихты и газа в верхней части – «холодная» прочность, а при определяющей роли силового взаимодействия потоков шихты и газа в нижней части – «горячая» прочность. Статистической обработкой данных по использованию различных концентратов в ОАО «ММК» получили зависимости, представленные на рис. 4.

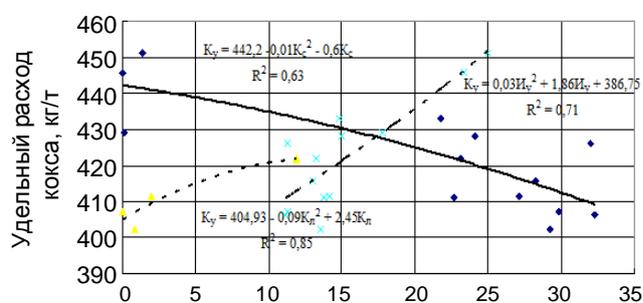


Рис. 4. Удельный расход кокса на выплавку чугуна ( $K_y$ , кг/т) при ведении доменного процесса с использованием агломерата, полученного при различном содержании концентратов ССПО ( $K_c$ ) и Лебединского ГОК ( $K_n$ ) в смеси с магнитогорским ( $I_y$  – расход известняка (кг/10) на тонну шихты)

Таким образом, действие увеличения содержания железа повышением содержания богатого концентрата в аглошихте на удельный расход кокса и производительность доменной печи может быть различным в зависимости от сопутствующего изменения химического состава, физико-механических и физико-химических свойств железорудного сырья и от расположения определяющей зоны доменной печи к моменту использования его.

Повышение содержания железа в шихте доменной печи само приводит к изменению определяющей зоны. Оценили это проведением лабораторных исследований по восстановлению агломерата с различным содержанием железа и расчётами хода процесса по высоте доменной печи. Восстановленность к температуре 1100<sup>0</sup>С получилась следующей:

содержание железа, %	40	50	60	65
степень восстановления, %	86	90	80	70

Экстремальный характер изменения её обусловлен совокупностью действующих факторов: константы скорости восстановления, интенсивности теплообмена вверху шахты, времени пребывания материалов в интервале температур 700–1100°C и степени использования химической энергии газов.

Снижение восстановленности к горизонту шлакообразования ухудшает газодинамические условия в нижней части доменной печи и делает её определяющей. Для компенсации такого действия повышения содержания железа после достижения предельных значений необходимо одновременное использование других мероприятий, обеспечивающих рост восстановленности материалов к нижним горизонтам. К таким мероприятиям, в частности, относятся увеличение расхода природного газа, повышение восстановимости сырья, отсева мелочи из него с увеличением средней крупности и интенсификацией процесса доменной плавки по дутью.

### Заключение

В ОАО «ММК» повышение содержания железа в агломерате и в шихте доменных печей для улучшения их работы обеспечивают с учётом сопутствующих экстремальных изменений показателей агломерационного и доменного процессов.

Росту содержания железа в агломерате в основном (CaO/SiO<sub>2</sub>) 1,6 на 1% повышением доли концентрата Лебединского ГОК в смеси с концентратом ДОФ-5 ОАО «ММК» соответствовало увеличение его в смеси их примерно на 2,4%.

При повышении содержания железа увеличением доли лебединского концентрата в агломерационной шихте целесообразно одновременное использование мероприятий, компенсирующих негативное влияние его на истираемость агломерата и уменьшение прочности на удар в определённом диапазоне содержания железа, руководствуясь определяющей зоной доменной печи.

Повышение содержания железа в агломерате с достижением высоких физико-механических свойств его приводит к перераспределению процессов восстановления по высоте и к определяющей роли силового

взаимодействия потоков шихты и газа в её нижней части.

### Список литературы

1. *Металлургия чугуна* / Вегман Е.Ф., Жеребин Б.Н., Похвиснев А.Н., Юсфин Ю.С. и др. М.: Академкнига, 2004. 774 с.
2. Волков Ю.П., Шпарбер Л.Я., Гусаров А.К. *Технологии доменщик: справочник*. М.: Metallurgia, 1986. 262 с.
3. Изучение влияния содержания железа в шихте на восстановительные процессы в доменной печи / Терентьев В.Л., Гостенин В.А., Сибатуллин С.К. и др. // *Сталь*. 2004. № 12. С.21–24.
4. Особенности богатого сырья для доменной плавки / Савинов В.Ю., Сибатуллин С.К., Терентьев А.В., Ваганов А.И. // *Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр./ под ред. В.М. Колокольцева*. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ». 2004. Вып. 4. С. 4–9.
5. Трудности реализации преимуществ богатого железорудного сырья / Савинов В.Ю., Лёкин В.П., Сибатуллин С.К. и др. // *Современная металлургия начала нового тысячелетия: сб. науч. трудов. Ч. 1*. Липецк: ЛГТУ, 2001. С. 32–35.
6. Лабораторные опыты по спеканию агломератов с содержанием железа до 59,5% / Полушкин М.Е., Юсупов Р.Б., Ким Т.Ф. и др. // *Совершенствование технологии в ОАО «ММК»: сб. тр. ЦЛК ОАО «ММК»*. Вып. № 5. Магнитогорск: Дом печати, 2001. С. 37–43.
7. Производительность агломерационной машины при повышении содержания железа в агломерате изменением соотношения концентратов ММК и ССПО / Гуцин Д.Н., Харченко А.С., Бородин А.А., Бидненко Н.А., Турук А.В. // *Современная металлургия начала нового тысячелетия: сборник 9-й научно-практической конференции*. Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2012. С. 49–52.
8. Качество агломерата из железорудных концентратов с повышенным содержанием оксида титана / В.М. Колокольцев, В.А. Бигеев, С.К. Сибатуллин, Д.Н. Гуцин, А.В. Иванов // *Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева*. Вып. 11. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. С. 4–8.
9. Спирин Н.А., Лавров В.В. *Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента. Конспект лекций*. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2004. 257 с.

### Сведения об авторах

**Сибатуллин Салават Камилевич** – д-р техн. наук, проф. института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 29-84-30. E-mail: 10skt@mail.ru.

**Гуцин Дмитрий Николаевич** – аспирант института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Харченко Александр Сергеевич** – канд. техн. наук, доц. института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 29-84-30. E-mail: as.mgtu@mail.ru.

**Гостенин Владимир Александрович** – канд. техн. наук, старший менеджер группы по аглодоменному производству ЦЛК ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

**Сенькин Константин Васильевич** – ведущий инженер агломерационной лаборатории ЦЛК ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».



УДК 669.1.022

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

## К ВОПРОСУ ПРОИЗВОДСТВА АГЛОМЕРАТА ИЗ ТОНКОИЗМЕЛЬЧЕННЫХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

**Аннотация.** В лабораторных условиях ФГБОУ ВПО МГТУ им. Носова проведены исследования по получению гибридного агломерата по японской технологии. Результаты исследований дают возможность увеличения высоты спекаемого слоя.

**Ключевые слова:** окомкование, спекание, гибридный агломерат.

Ввиду истощения крупных месторождений железных руд в Уральском промышленном регионе с его мощным металлургическим производством проблема снабжения металлургических заводов относительно дешевым и качественным железорудным сырьем в настоящее время существенно обострилась. Здесь имеется ряд значительных и неразработанных месторождений бедных руд.

При обогащении таких руд получают фракцию - 0,074 мм. Поэтому решение проблем окускования тонкодисперсных материалов является важным процессом в условиях современной экономики.

Основным продуктом окускования тонкоизмельченных концентратов являются окатыши. Однако они обладают достаточно серьезным недостатком – низкой горячей прочностью. На некоторых аглофабриках мира тонкий концентрат спекают, получая агломерат – наилучшее сырье для доменных печей. Однако спекание тонкоизмельченного концентрата ограничено возможностями эксгаустеров, так как такое сырье имеет очень низкую газопроницаемость.

Япония и Украина являются «первооткрывателями» нового вида железорудного сырья – гибридного агломерата (агломератшей). Это сравнительно новый продукт окускования тонкодисперсного железорудного сырья, объединивший в своей технологии стадии процессов получения как агломерата, так и окатышей.

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).

Согласно японской технологии сначала проводится предварительное окомкование тонкодисперсных концентратов в гранулы (миниокатыши) крупностью 5–10 мм в тарельчатых грануляторах. Затем в барабанном окомкователе на полученные гранулы накатывается тонкоизмельченное твердое топливо (коксовый уголь). Далее полученный полупродукт отправляется на агломерационную машину конвейерного типа на спекание [5, 6]. Спекание производится на агломашине, отличающейся от обычной наличием зоны сушки перед зажигательным горном.

Предварительное окомкование тонкоизмельченных концентратов позволило увеличить высоту спекаемого слоя за счет улучшения газопроницаемости

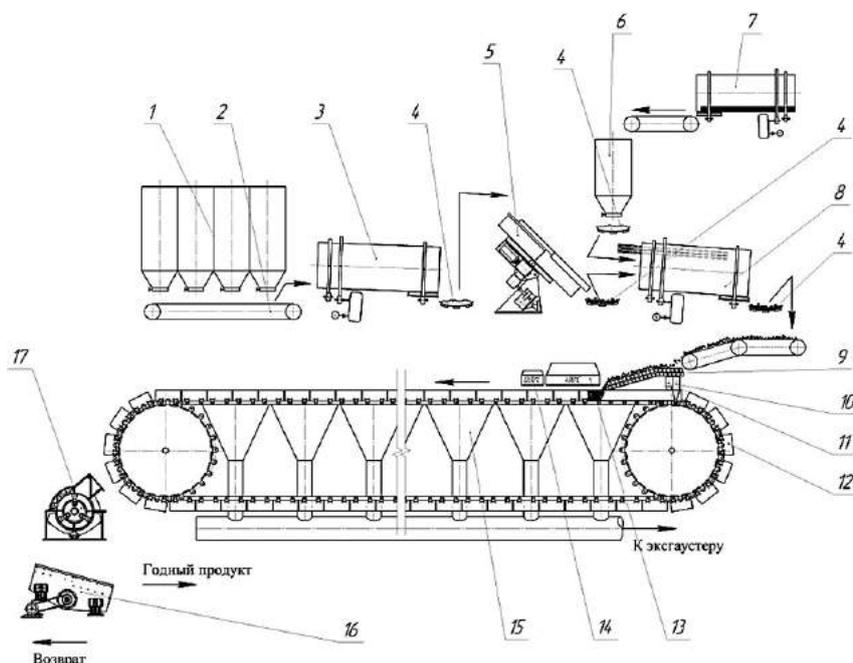


Рис. 1. Технологическая схема промышленного оборудования для производства агломерата процессом HPS: 1 – шихтовые бункеры; 2 – сборочный транспортер; 3 – смесительный барабан; 4 – ленточный транспортер; 5 – тарельчатый гранулятор; 6 – коксовая (угольная) мелочь; 7 – стержневая мельница; 8 – барабанный 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

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.

Анализ применения гибридного окускованного сырья в Фукуяма и Курасики (Япония) при выплавке чугуна подтвердил, что по своему гранулометрическому составу оно близко к стабилизированному агломерату. Даже при наличии в гибридном агломерате 7–8% мелочи крупностью 0–5 мм проплавка его в доменной печи приводит к увеличению производительности ее и снижению расхода твердого топлива [4]. 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  $M^{-5} = 6,5\%$  [9].

Украинская технология производства гибридного агломерата существенно отличается от японской. Первая стадия производства агломератышей по украинской технологии заключается в производстве сырых окатышей высокой и низкой основности. После дозировки по массе 50 на 50% последние смешиваются и загружаются на обжиговую машину. В зоне обжига в высокоосновных окатышах образуется жидкой фазы более 20% от объема окатышей [10]. Капиллярные силы не в состоянии удержать расплавы внутри окатыша, они выходят на поверхность, смачивают низкоосновные окатыши и образуют мениски. В зоне охлаждения расплавы кристаллизуются, образуя спекки. Недостатком украинской технологии, по нашему мнению, является то, что основным железорудным минералом таких агломератышей является гематит. А значит, при восстановлении в шахте доменных печей возможно разбухание и разрушение их, как у традиционных окатышей.

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

В 2013 г. в лаборатории подготовки сырья ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова» была проведена серия опытов по получению гибридного агломерата из концентрата ОАО «ММК» по японской технологии.

Технология производства гибридного агломерата 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; накатывание твердого топлива на миниокатыши; рассеивание полученных гранул по крупности;

проверка прочностных характеристик миниокатышей; сушка гранул оптимальной крупности; спекание миниокатышей на лабораторной аглочае; испытание полученного гибридного агломерата на прочность и истираемость; исследование микроструктуры полученного продукта.

Выявлено оптимальное время окомкования тонкого концентрата без накатывания коксика на поверхность и при накатывании его.

Опытным путем был выявлен рациональный размер миниокатышей (рис.2) при высоте спекаемого слоя 240 мм. Увеличить высоту слоя не позволяли параметры установки.



Рис. 2. Полученные в лабораторном грануляторе миниокатыши

Полученные 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.

Полученный продукт по макроструктуре напоминал «гроздь винограда» (рис. 3, 4). Была проведена серия опытов по проверке гибридного агломерата на холодную прочность и истирание.



Рис. 3. Гибридный агломерат с оптимальным расходом твердого топлива



Рис. 4. Гибридный агломерат с избытком твердого топлива

Были изготовлены аншлифы полученного гибридного агломерата и сделаны фотографии микроструктуры (рис. 5). В дальнейшем планируется изучение фазового и химического состава полученного гибридного агломерата.

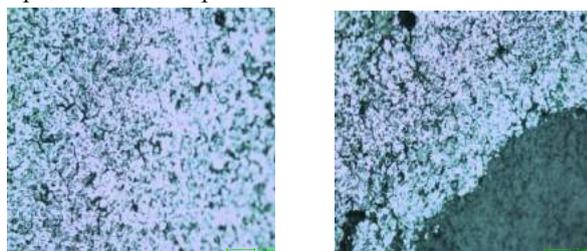


Рис. 5. Микроструктура гибридного агломерата, полученного в лабораторных условиях ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г. И. Носова»:  
а – низ агломерационной чаши;  
б – середина агломерационной чаши

#### Сведения об авторах

**Насыров Тимур Мухтасарович** – магистрант института металлургии, машиностроения и материалобработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519) 29-84-30.

**Макарова Ирина Владимировна** – канд. техн. наук, и.о. доц. института металлургии, машиностроения и материалобработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 29-84-30.

**Дружков Виталий Гаврилович** – канд. техн. наук, доц. института металлургии, машиностроения и материалобработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519) 29-84-30.



#### Список литературы

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 окускованного 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 залізородного матеріалу для доменного переділу: автореф.дис. Дніпропетровськ, 2010.
6. Инадзуми Т. Новейшие достижения в агломерации железных руд // 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. ... канд. техн. наук. Липецк, 2011.
8. Близиюков А.С. Развитие процесса окомкования аглошихты в Японии // Новости черной металлургии за рубежом. 2011. №1. С. 14-20.
9. Влияние гибридного совмещения методов интенсификации агломерационного процесса на показатели спекания и качество агломерата / С.Е. Сулименко, Н.В. Игнатов, В.В. Бочка, В.Н. Ковшов, Е.Е. Вылупко // Изв. вузов. Черная металлургия. 2011. №12. С. 3-6.
10. Бережной Н.Н., Федоров С.А., Билоус В.Н. Исследование получения прочного окускованного сырья с самоплавкой пустой породой из высококремнеземистых железородных концентратов // Повышение эффективности работы доменных печей. 1983. С. 11-15.

УДК 669.785

Абзалов В.М., Берсенев И.С., Евстюгин С.Н., Щеглов В.Н.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА С СОДЕРЖАНИЕ СЕРЫ БОЛЕЕ 1%

**Аннотация.** Рассмотрены способы переработки новых типов сырья для процессов окускования железных руд и концентратов.

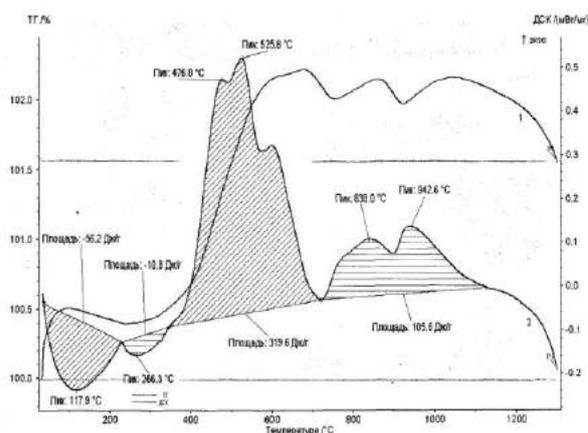
**Ключевые слова:** сырье, концентрат, сульфиды, термогравиметрический анализ.

По мере истощения освоенных месторождений железных руд все более актуальными становятся вопросы переработки новых типов сырья [1]. К числу наиболее сложных в освоении, но обладающих значительными запасами, относятся руды с повышенным содержанием серы [2]. Это, например, Богословское месторождение (Урал), Таёжное, Дёсовское (Восточная Сибирь) и другие. Возможность использования этих руд металлургами зависит от того, как эффективно будет удаляться сера при окусковании и плавке (что определяет качество металла) и при очистке отходов (дымовых газов, стоков, шлаков). И если организация десульфурации газов и стоков технически реализуема и не представляет технических проблем, то особенностью десульфурации этих железных руд, на основе которых будет разработана технология их пиromеталлургической переработки, требуют изучения [3]. Последнее обусловило актуальность данной работы, цель которой – исследование особенностей физико-химических процессов при термообработке концентратов из высокосернистых руд.

В качестве объекта исследования был использован железорудный концентрат мокрого магнитного обогащения руды месторождения «Таёжное», содержащий:  $Fe_{\text{общ}} = 66,2\%$ ;  $FeO = 27,5\%$ ;  $SiO_2 = 2,66$ ;  $Al_2O_3 = 0,94$   $CaO = 0,16$ ;  $MgO = 3,06$ ;  $S = 1,41$ ; ППП = 0,39. Минеральный состав железосодержащих фаз представлен магнетитом (95,5%), гематитом (0,5%), флогопитом (1,5%), пирротинном (1,5%) и пиритом (1,0%).

В качестве метода исследования был выбран термогравиметрический анализ. Исследования проводили на дифференциальном сканирующем калориметре STA 449 F3 Jupiter (Netzsch-Geratebau GmbH) по методике DIN 51004:1994 Determination of melting temperatures of crystalline materials using differential thermal analysis (Определение температур плавления кристаллических материалов, используя дифференциальный термический анализ) с параллельным контролем отходящих газов.

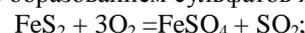
Результаты исследования представлены на рисунке.



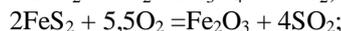
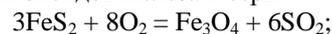
Изменение температуры и массы в процессе нагрева

Комплексный анализ дифференциальной кривой изменения массы и температуры образца (по сравнению с температурой эталона) показывает:

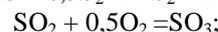
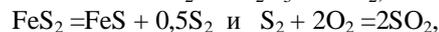
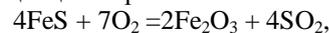
- окисление сульфидов начинается при температуре 266°C с образованием сульфатов железа



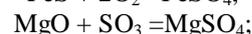
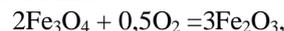
- при более высоких температурах, около 400°C, развитие получают реакции окисления сульфидов с образованием оксидов железа и серы



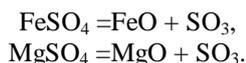
- максимальная скорость процесса окисления сохраняется до температуры 526°C, выше этой температуры развиваются реакции, помимо окисления сульфидов, диссоциация пирита



- при температурах выше 600°C продолжается процесс окисления магнетита и снижается скорость окисления сульфидов вследствие образования сульфатов железа и магния



- при температуре выше 900°C резко падают скорости окисления как сульфидов, так и магнетита, начинается процесс диссоциации сульфата железа, а выше 950°C сульфата магния, который получает развитие с ростом температуры в присутствии гематита



В целом кривая изменения тепловых эффектов отражает происходящие при нагреве образца процессы окисления сульфидов и магнетита, диссоциацию пирита, а при высоких температурах и диссоциацию сульфатов железа. Суммарный тепловой эффект десульфурации и окисления магнетита равен около 426 Дж/г.

Изменение массы образца при нагреве (+1,6%) отражает тенденцию преимущественного увеличения массы за счет прибавки кислорода (~3%), при окислении магнетита, за вычетом удаления серы при десульфурации (~1,4%).

При этом большая часть серы из концентрата удаляется при его нагреве до температуры 950–1000 °С. В этом же интервале, в основном, заканчивается и окисление FeO магнетита. При температуре выше 1000 °С начинается разложение сульфатов и диссоциация гематита. Полученные данные могут быть использованы при разработке режимов термообработки окатышей и спекания агломерата из подобных материалов.

В частности, на основании этих данных можно разработать тепловые схемы агрегатов для обжига или спекания указанных типов руд, в которых возможна селективная очистка газов. При этом режим термообработки должен предусматривать отбор газов из зон агрегата, в которых происходит нагрев слоя до температуры 1000 °С и их очистку. Рециркуляция этих газов, в целях максимально полного использования тепла первичных энергоресурсов, ограничена, поскольку ведет к накоплению соединений серы в теплоносителе [4].

#### Сведения об авторах

**Абзалов Вадим Маннафович** – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, главный специалист ООО «НПВП ТОРЭКС», г. Екатеринбург.

**Берснев Иван Сергеевич** – канд. техн. наук, руководитель группы агломерационного оборудования, технологии агломерации ООО «НПВП ТОРЭКС», г. Екатеринбург. Тел.: (343)253-06-56. E-mail: i.bersnev@torex-npvp.ru.

**Евстиогин Сергей Николаевич** – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, главный специалист ООО «НПВП ТОРЭКС», г. Екатеринбург. Тел.: (343)253-06-50. E-mail: [npvp@torex-npvp.ru](mailto:npvp@torex-npvp.ru).

**Щеглов Владимир Николаевич** – канд. техн. наук, главный менеджер дивизиона «Руда», г. Москва.



#### Выводы

На основании термогравиметрического анализа при обжиге железорудного концентрата с содержанием серы более 1% установлено следующее:

1. Кривая изменения тепловых эффектов в образце показывает влияние процессов окисления сульфидов железа от температуры 266 °С и магнетита от температуры 400 °С. Наиболее активное окисление сульфидов заканчивается до температуры 720 °С, а окисление магнетита до 1130 °С.

2. Суммарный тепловой эффект окисления соединений серы и окисления магнетита составил 426 Дж/г.

3. Изменение массы образца показывает преимущественное влияние окисления магнетита, так как масса образца увеличивается за счет прибыли кислорода за вычетом удаляемой серы. Суммарное увеличение массы при термообработке – 1,6% (абс.).

#### Список литературы

1. Стратегия развития металлургической промышленности России. Утв. Приказом Минпромторга России от 18 марта 2009 г. № 150.
2. Шумаков Н.С., Дмитриев А.Н., Гараева О.Г. Сырые материалы и топливо для доменной плавки (характеристика и методы подготовки). Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 392 с.
3. Юсфин Ю.С., Базилевич Т.Н. Обжиг железорудных окатышей. М.: Металлургия, 1973. 272 с.
4. Абзалов В.М., Судай А.В., Юрьев Б.П. Процессы десульфурации при обжиге железорудных окатышей // Сталь. 2008. №12. С.20-25.

# МЕТАЛЛУРГИЯ ЧУГУНА

УДК 669.162.22-52

Дружков В.Г., Ширшов М.Ю.

## ПРИЧИНЫ НЕРАВНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДУТЬЯ ПО ФУРМАМ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ И НЕОБХОДИМОСТЬ ОСНАЩЕНИЯ ИХ САРД НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

**Аннотация.** Обобщены причины неравномерного распределения дутья по фурмам доменных печей, результаты работ по внедрению систем автоматического распределения дутья по фурмам (САРД), показана высокая эффективность этого мероприятия, выявлены причины свертывания работ в мире по этому направлению. Обоснована необходимость и возможность внедрения САРД нового поколения в настоящее время.

**Ключевые слова:** доменная печь, фурмы, система автоматического распределения дутья (САРД), эффективность.

Для обеспечения высокой технико-экономической эффективности доменной плавки необходимо поддерживать ровный ход доменной печи. Под ровным ходом печи, в самом общем смысле, понимается стабильность выбранного рационального газодинамического режима и нормального теплового состояния процесса.

Одной из главных задач управления доменной плавкой остается поиск направлений и средств совершенствования противотока газа и шихтовых материалов путем изучения основных его закономерностей [1].

Методом воздействия на противоток в горне доменной печи является регулирование с помощью распределения и скорости истечения дутья. Однако расходы дутья по отдельным фурмам в горне доменных печей неодинаковы. Отклонения чаще всего составляют 10–15% от среднего значения, максимально – до 30–50%. Это приводит к существенной неравномерности работы печи по окружности и снижению технико-экономических показателей доменной плавки. Такое различие в значительной мере способствует такому же неравномерному распределению природного газа и других добавок к дутью [2]. Поэтому доменщики вынуждены менять распределение дутья по фурмам путем изменения их диаметра, закрытием и др.

Причины неравномерного распределения дутья по фурмам следующие:

- односторонний подвод горячего дутья к кольцевому воздухопроводу, в результате чего расход его на фурмах в секторах места ввода и диаметрально противоположного ему, как правило, выше;
- подвод дутья к кольцевому воздухопроводу в двух местах (доменная печь № 9 Криворожстали,  $V_{II} = 5037 \text{ м}^3$ ) добавил количество секторов с повышенным расходом дутья по фурмам;
- разная газопроницаемость материалов в надфурменных зонах из-за неравномерного окружного распределения шихты;
- изменение сечения фурм при зарастании их шлаком;

- перекосы уровня шихты;
- искажение профиля печи в связи с излишним разгаром футеровки (в секторах над чугунами и шлаковыми летками), образованием настывлей и гарнисажа излишней толщины;
- неполное смешивание горячего и холодного воздуха;
- разные значения архимедовой силы по секторам горна на выпуске, а значит, и скорости схода материалов;
- геометрия фурменных рукавов, попадание в диффузор фурменных приборов фрагментов огнеупорных изделий при частичном разрушении камеры горения воздухонагревателей и воздухопровода горячего дутья.

Равномерной работе доменных печей по окружности способствует внедрение систем автоматического распределения дутья по фурмам, позволяющее оперативно регулировать газовый поток «снизу» [3].

Автоматическим распределением дутья по фурмам начали заниматься в США в 30-е годы, а СССР – в 40-е годы XX столетия. Оборудоваться же доменные печи такими системами стали в конце 50-х годов [1,4].

Было отмечено, что при автоматическом регулировании дутья фурмы «работали» ровно, улучшился сход шихты, уменьшилась разница температур кладки по окружности печи, не наблюдалось одностороннего разгара кладки. В результате значительно увеличилась продолжительность кампании, сократился относительный расход кокса, увеличилась производительность печи [1, 5].

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

кокса на 2,7% [3,6,7].

Чаще всего в промышленности расход жидкостей и газов замеряется с помощью стандартных сужающих (дроссельных) устройств – шайб (диафрагм), напорных трубок, сопел Лавалля, труб Вентури и др., с использованием зависимости  $Q = k \cdot \sqrt{\Delta h}$ . На доменных печах применялись шайбы, сопла, напорные трубки (Пито) и др. На рис. 1 представлен способ измерения перепада давлений на неподвижном колене фурменного прибора [5].

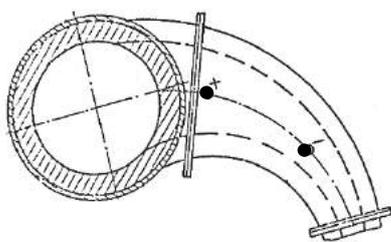


Рис. 1. Места отбора давления в неподвижном колене

Расход дутья на n-фурме определяется по формуле [3]

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

где  $\Delta h_n$  – перепад на фурменном колене (диффузоре) n-й фурмы;

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

$k$  – коэффициент, определяемый по формуле

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

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

Для регулирования расхода дутья по фурмам применяли охлаждаемые регулирующие конусы (Германия), дроссельные заслонки (мотыльки) (КМК, Азовсталь, Япония), шиберы (ММК). Расположение измерительного сопла и регулирующего дросселя [6] представлено на рис. 2.

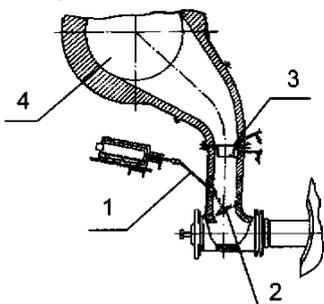


Рис. 2. Расположение измерительного сопла и регулирующего дросселя в фурменном приборе: 1 – рычаг управления дросселем; 2 – дроссельная заслонка; 3 – измерительное сопло; 4 – кольцевой воздухопровод

Установка устройств для измерения и регулиро-

вания расходов дутья на фурмы внутри фурменных приборов существенно повышала сопротивление тракта подвода дутья к печи. При недостаточной мощности воздуходувок это приводило к снижению производительности, что сдерживало внедрение САРД.

Активизировались работы в этом направлении после того, как М.А. Стефанович предложил определять расход дутья по фурмам без ввода измеряющего устройства в поток дутья, используя значение перепада давлений его в диффузоре фурменного прибора как в местном сопротивлении [3, 5].

Основная проблема – низкая стойкость регулирующих органов, работающих при температуре 1000–1200°C, при высоких скоростях газа и абразивном действии пыли на органы и стенки воздухопровода, особенно при взятии печи «на тягу». Наиболее стойкими оказались регулирующие органы, предложенные на ММК, – водоохлаждаемые шиберы, дополнительно охлаждаемые сверху компрессорным воздухом и убирающиеся при взятии печи «на тягу». На рис. 3 представлено регулирующее устройство шиберного типа [4].

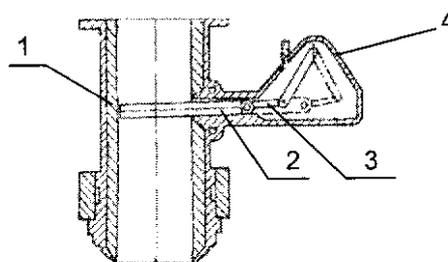


Рис. 3. Шиберное устройство для регулирования расхода дутья через фурму печи: 1 – неподвижный патрубок; 2 – шибер; 3 – рычаг; 4 – кожух

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

На Всесоюзном совещании доменщиков (Липецк, 1982) было констатировано «отставание» в разработке типовых решений по созданию систем управления распределением дутья по фурмам из-за низкой стойкости регулирующих органов [8].

По сути, работы были свернуты, хотя эффективность применения САРД была высокой [6,7].

Новый импульс к возобновлению этих работ на более высоком уровне может придать предложение кафедры металлургии черных металлов МГТУ им. Г.И. Носова о регулировании расхода дутья по фурмам изменением места ввода природного газа (топливной добавки) в фурменном приборе. Увеличение расстояния места ввода природного газа от носка фурмы (следовательно, времени пребывания его в фурменном приборе) способствует росту степени полного горения и температуры газовой смеси, а значит,

объема, скорости истечения и, в конечном итоге, сопротивления. Расход дутья через данную фурму упадет, а на остальные – увеличится. Необходимо устроить несколько мест ввода природного газа и поставить краны для подключения их к магистрали [4].

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

### Список литературы

1. Бугаев К.М. Распределение газов в доменных печах. М.: Metallurgy, 1974. 176 с.
2. Тарасов В.П., Тарасов П.В. Теория и технология доменной плавки. М.: Интернет Инжиниринг, 2007. 384 с.
3. Разработка и внедрение системы автоматического распределения дутья по фурмам / Н.Н. Сажнев, Н.И. Иванов, М.А. Стефанович и др. // Вопросы теплотехники и автоматизации металлургического производства: сб. науч. тр. / МГМИ им. Г.И. Носова. Магнитогорск, 1970. Вып. 76. С.4–9.
4. Необходимость и возможность оснащения современных доменных печей системами автоматического распре-

ления дутья нового поколения / Дружков В.Г., Ваганов А.И., Прохоров И.Е., Шишов М.Ю. // Теплофизика и информатика в образовании, науке и производстве: сборник докладов II Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (ТИМ ` 2013) с международным участием. Екатеринбург: УрФУ, 2013. С.182-184.

5. Сажнев Н.Н. Система автоматического распределения дутья по фурмам доменной печи // Бюл. ЦИИН. 1969. №13. С. 37–39.
6. Автоматическое регулирование распределения дутья по фурмам доменной печи Кузнецкого металлургического комбината / Б.Н. Жеребин, В.А. Хромов, П.П. Мишин и др. // Сталь. 1964. №4. С.292–296.
7. Анализ работы доменной печи при автоматическом регулировании дутья по воздушным фурмам / Г.Е. Сенько, В.Н. Оноприенко, А.П. Царицын и др. // Сталь. 1965. №7. С.590–593.
8. Рылов И.А., Финогенов В.А., Френкель М.М. Современные достижения в автоматизации управления технологией доменной плавкой // Повышение технического уровня и совершенствование технологии доменного производства: тез. докл. Всесоюз. научно-технического совещания (Липецк, май 1982). М.: Черметинформация, 1982. С.9-11.

### Сведения об авторах

**Дружков Виталий Гаврилович** – канд. техн. наук, доц. института металлургии, машиностроения и материаловедения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519) 29-84-30.

**Шишов Михаил Юрьевич** – аспирант института металлургии, машиностроения и материаловедения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».



УДК 669.162.16

Сибатуллин С.К., Харченко А.С., Полинов А.А., Павлов А.В., Семенов М.А., Бегинюк В.А.

## СТАБИЛИЗАЦИЯ СООТНОШЕНИЯ РАСХОДОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА И ДУТЬЯ ПО ФУРМАМ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

**Аннотация.** Проведением промышленных испытаний на доменной печи ОАО «ММК» объемом 1370 м<sup>3</sup> исследовано влияние стабилизации соотношения расходов природного газа и дутья по фурмам на ход доменной плавки.

**Ключевые слова:** доменная печь, природный газ, дутье.

Вдувание в горн доменной печи природного газа позволяет повысить экономичность доменной плавки при пониженной стоимости газа по отношению к скиповому коксу. Эквивалент замены обычно составляет 0,6–0,8 кг/м<sup>3</sup> в зависимости от расхода газа и распределения процессов восстановления по температурным зонам. В связи с этим металлургические предприятия России стремятся поддерживать расход газа на предельно максимальном уровне, при превышении которого осложняется работа печи. Предельно допустимая

величина расхода газа зависит от расположения определяющей зоны по силовому взаимодействию потоков шихты и газа. При одинаковом расходе газа перемещение лимитирующей по газодинамике зоны из нижней в верхнюю часть печи может привести к осложнению хода доменного процесса [1].

Проведением опытных плавков на доменной печи ОАО «ММК» полезным объемом 1370 м<sup>3</sup> выявили мероприятия, компенсирующие отрицательное действие расхода природного газа на отдельные стороны

хода процессов. Для этого исследовали три периода. В первом расход газа составил 15,5 тыс. м<sup>3</sup>/ч, во втором и третьем – 16 тыс. м<sup>3</sup>/ч. В периоде II без компенсирующих мероприятий коэффициент равномерности [2] отношения расхода природного газа к дутью по фурмам снизился с 0,95 до 0,91. Интервалы между максимальной и средней, а также средней и минимальной величинами этого отношения увеличились соответственно с 0,5 и 0,9 до 1,2 (табл. 1). Доведение расхода газа до 16 тыс. м<sup>3</sup>/ч в периоде II сопровождалось увеличением удельного расхода кокса (табл. 2).

Таблица 1  
Параметры дутья в исследуемые периоды

Наименование показателей	Расход природного газа, тыс. м <sup>3</sup> /ч		
	15,5	16,0	16,0
Длительность периода, сут	7	6	4
Расход, м <sup>3</sup> /т чугуна: дутья	1117	1098	1115
природного газа	101,5	106	108
Давление горячего дутья, кПа	257	258	258
Температура дутья, °С	1189	1180	1185
Расход водяного пара, г/м <sup>3</sup>	3,37	3,81	1,63
Содержание кислорода, %	26,9	27,6	26,9
Отношение расхода природного к дутью, %: среднее	5,5	5,7	5,6
	6,4	7,0	5,9
	max	5,1	4,6
min			5,3
Интервал от среднего, max-среднее	0,9	1,2	0,3
	среднее - min	0,5	1,2
Коэффициент равномерности расхода ПГ к горячему дутью по фурмам	0,95	0,91	0,97

Основной причиной являлось снижение дренажной способности горна печи, о чем свидетельствуют повышение коэффициента сопротивления шихты в нижней части печи (табл. 4) и увеличение неравномерности работы печи по окружности (табл. 5).

Для эффективного использования природного газа в количестве 16 тыс. м<sup>3</sup>/ч в третьем периоде стабилизировали соотношение расходов газа и дутья по фурмам с учетом температуры периферийных газов. Это обеспечили путем регулирования расхода газа по фактическому количеству дутья, поступающему через соответствующую фурму. В результате интервалы между максимальной и средней, а также средней и минимальной величинами этого отношения уменьшились с 1,2 до 0,3 (см. табл. 1). Причем отклонение соблюдало таким образом, чтобы расход природного газа был выше в местах с пониженной температурой периферийных газов и наоборот (табл. 6). Таким образом, коэффициент равномерности распределения отношений расходов природного газа к дутью по каждой фурме увеличился с 0,91 до 0,97 (см. табл. 1).

Согласно табл. 6 на южной стороне печи температура периферийных газов была несколько выше, поэтому в эту область давали больше природного газа.

Таблица 2  
Основные технологические показатели работы печи

Наименование показателей	Расход природного газа, тыс. м <sup>3</sup> /ч		
	15,5	16,0	16,0
Удельный расход кокса (сухого, скипового), кг/т чугуна: фактический	449,4	452,2	447,9
	приведенный	439,9	440,1
Расход коксовой фракции, кг/т чугуна	12,0	11,7	9,8
Производительность, т/сут: по фактическому количеству загруженных подач	3640	3725	3641
	приведенная	3682	3737
Удельный расход всего топлива, кг/т чугуна: фактический (кокс, природный газ, коксовый орешек)	535	541	537
	приведенный	526	529
Расход, кг/т чугуна: сырьевых материалов	1634	1448	1617
	кварцита	-	5
Интенсивность хода: по дутью, м <sup>3</sup> /(м <sup>3</sup> сут)	1,9	1,96	1,88
	по суммарному углероду, т/(м <sup>3</sup> сут)	1,02	1,06
Рудная нагрузка, т/т	3,73	3,75	3,79
Содержание Fe в шихте, %	57,45	56,9	57,2

Таблица 3  
Параметры колошниковога в исследуемые периоды

Наименование показателей	Расход природного газа, тыс. м <sup>3</sup> /ч			
	15,5	16,0	16,0	
Состав колошниковога, %: CO <sub>2</sub>	20,7	21,0	20,7	
	CO	24,2	24,4	23,9
	H <sub>2</sub>	8,6	8,7	8,4
Степень использования, %: CO	46,0	46,2	46,5	
	H <sub>2</sub>	34,1	35,7	37,9
Температура в газоотводах, °С	134,8	149,3	126,8	
Давление колошниковога, кПа	138	138	139	
Градиент температур по периферии, °С	240	247	202	
Уровень засыпи фактический, м	1,07	1,27	1,31	

Таблица 4  
Показатели газодинамического режима работы

Наименование показателей	Расход природного газа, тыс. м <sup>3</sup> /ч				
	14	15	15,5	16,0	16,0
Длительность периода, сут	5	5	7	6	4
Коэффициент сопротивления шихты движению газов: на колошнике	0,35	0,28	0,42	0,38	0,60
	10,88	10,87	11,77	11,80	11,66
Динамический напор газа на пустое сечение колошника в рабочих условиях по температуре и давлению, Н/м <sup>2</sup>	1,95	2,14	1,98	2,16	1,55

Таблица 5  
Показатели, характеризующие появление шлака по выпускам

Наименование показателя	Расход природного газа, тыс. м <sup>3</sup> /ч		
	15,5	16,0	16,0
Время от начала выпуска до появления шлака, мин:			
на летке № 1 (T <sub>1</sub> )	13	17	8
на летке № 2 (T <sub>2</sub> )	9	6	11
Отношение T <sub>1</sub> / T <sub>2</sub>	1,44	2,83	0,72
T <sub>1</sub> – T <sub>2</sub>	4	11	3
Средневзвешанное значение между T <sub>1</sub> и T <sub>2</sub> (T)	10	11	10

Таблица 6  
Усредненная температура периферийных газов в периоде III

Наименование показателей	Расположение воздушных фурм и периферийных термопар по сторонам света	
	юг	север
Усредненная температура периферийных газов, °С	318	202
Усредненные отношения расходов газа и дутья по фурмам	5,56	5,62

Стабилизация соотношения расходов газа и дутья по фурмам при неизменном его расходе, равном 16 тыс. м<sup>3</sup>/ч, сопровождалась увеличением степени использования СО и Н<sub>2</sub> соответственно с 46,2 до

46,5% и с 35,7 до 37,9% (см.табл. 3), снижением градиента температуры газа по периферии с 247 до 202<sup>0</sup>С (см. табл. 3). Это обеспечило снижение температуры колошниковых газов от 149 до 127<sup>0</sup>С. В периоде III снизился динамический напор газа на колошнике с 2,16 до 1,55 Н/м<sup>2</sup>.

### Заключение

Стабилизация соотношения расходов природного газа и дутья по фурмам путем регулирования расхода газа по фактическому количеству дутья, поступающему через соответствующую фурму, обеспечила более эффективное его использование вследствие смещения процессов восстановления в зону умеренных температур. Это позволило снизить удельный расход кокса.

### Список литературы

1. Влияние расхода природного газа на коэффициент сопротивления шихты в зависимости от условий хода доменной плавки / С.К. Сибатуллин, А.С. Харченко, Е.О. Теплых, Р.Ф. Салахов, А.В. Чевычелов, В.А. Бегинюк // Achievement of high school: материалы за 8-а международна научна практична конференция. Болгария, София: Изд-во София Бял ГРАД-БГ, 2012. С. 3–7.
2. Харченко А.С., Сибатуллин С.К., Сысоев Н.П. Поступление коксового орешка совместно с агломератом и окатышами из шихтового бункера БЗУ в колошниковое пространство доменной печи // Изв. вузов. Черная металлургия. 2011. № 8. С. 18-19.

### Сведения об авторах

**Сибатуллин Салават Камирович** – д-р техн. наук, проф. института металлургии, машиностроения и материаловедения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 29-84-30. Email: 10skt@mail.ru.

**Харченко Александр Сергеевич** – канд. техн. наук, доц. института металлургии, машиностроения и материаловедения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 29-84-30. E-mail: as.mgtu@mail.ru.

**Полинов Андрей Александрович** – начальник доменного цеха ОАО «ММК». Тел.: (3519) 24-38-77. E-mail: kanina@mmk.ru.

**Павлов Александр Владимирович** – заместитель главного металлурга по доменному производству ОАО «ММК». E-mail: kanina@mmk.ru.

**Семенюк Михаил Александрович** – старший мастер участка доменного цеха ОАО «ММК». E-mail: semenyuk.ma@mmk.ru.

**Бегинюк Виталий Александрович** – ведущий специалист технологической группы доменного цеха ОАО «ММК». Тел.: (3519) 24-10-38. E-mail: beginyuk.va@mmk.ru.



УДК 669.162.267.6

Потапова М.В., Ишмуратов Р.А., Насыров Т.М.

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВНЕДОМЕННОЙ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ЧУГУНА

**Аннотация.** Рассмотрены различные реагенты-десульфураторы для внедоменной десульфурации чугуна. Определены технико-экономические показатели от использования каждого из реагентов и выявлен наиболее эффективный.

**Ключевые слова:** десульфурация чугуна, реагент-десульфуратор, «известь+магний», сода.

В настоящее время потребности рынка в особо качественных и «сверхчистых» сталях существенно возросли. Получение таких сталей без внеагрегатной обработки металла невозможно. По этим причинам последние 50 лет ведутся исследования по внедоменной обработке чугуна и внепечной обработке стали. Удаление серы из металла является чуть ли не самой основной и распространенной задачей внеагрегатной обработки. Мировая практика показала, что внедоменная десульфурация передельного чугуна на поря-

док эффективнее внепечной десульфурации стали.

Развитие десульфурации чугуна и сейчас остается актуальным, так как при большом разнообразии существующих способов и используемых реагентов существует ряд ограничений (стоимость обработки, время обработки, достигаемая степень десульфурации и др.). Наиболее распространенные реагенты для внедоменной десульфурации чугуна, их смеси и составы представлены в табл. 1 [1-3].

Таблица 1

Реагенты для внедоменной десульфурации передельного чугуна

Магний, его сплавы и смеси	Другие смеси
Куски магния со специальными изоляционными обмазками, включающими глину, жидкое стекло, оксиды и т.п., помещение этих кусков в колпак-испаритель со щелями для выхода паров магния и ввод испарителя на глубину в металл	Смесь из обожженной извести (90%), плавикового шлата (5%) и нефтяного кокса (5%)
Гранулированный магний в струе природного газа	Шлаки внепечной обработки стали
Смесь известь-магний	Цианамид кальция
Порошок магния, покрытый слоем, состоящим из хлоридов натрия, калия, магния, кальция	Вдувание флюсов на основе известняка
Способ обработки чугуна введением в него проволоки, содержащей в порошкообразном виде магний и другие компоненты (например, РЗМ)	Карбид кальция CaC <sub>2</sub>
Введение магния совместно с коксом	Смеси на основе CaC <sub>2</sub> , CaO и CaCO <sub>3</sub>
Смесь магния с карбидом кальция или с алюминием и глиноземом	Сода (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )
Смесь гранул магния с гранулированным основным шлаком	Известь и известняк
	Раскисление металла гранулами алюминия

Таблица 2

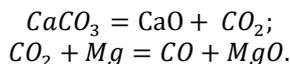
Технико-экономические показатели смесей для десульфурации чугуна

Виды реагентов	Степень использования, %	Расход, кг/т	Начальное количество серы, %	Конечное количество серы, %	Способ, используемый для ввода реагента		
Гранулированный магний	>95	0,30-0,55	0,027-0,054	<0,010	Инжекция газоносителем		
Смесь известь - магний	70-80	0,30-0,80	0,018-0,044	0,003-0,006	В струе природного газа		
Порошковая проволока, содержащая магний и другие компоненты	88-92	0,15-1,00	0,015	0,002-0,007	В ковш или струю металла		
Смесь магния с карбидом кальция или с алюминием и глиноземом	1) моносилкат кальция (44% SiO <sub>2</sub> ; 42% CaO; 14% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) и магний	Стоимость реагента=2,15 долл./т чугуна	70-80	0,40-0,50	0,035	0,008	Вдувание реагента в струе газа
	2) смесь 62% CaO + сплав (30% Mg +8% Al)	Стоимость реагента=2,30 долл./т чугуна	70-80	0,35-0,45	0,030	0,003	
	3) CaC <sub>2</sub> и смесь 10% CaO + сплав (72%т Mg + 18% Al) в соотношении 4:1	Стоимость реагента=2,68 долл./т чугуна	70-80	0,40-0,50	0,025-0,030	0,002	

В табл. 2 представлены технико-экономические показатели по использованию некоторых из приведенных выше смесей для десульфурации и результаты их введения в производство [3].

Сравнительный анализ реагентов-десульфураторов, рассмотренных выше, выявил следующие закономерности:

- при сложившемся на этот период времени соотношении цен на десульфураторы применение магнезия для глубокой десульфурации связано с меньшими затратами, чем использование карбида кальция, извести и кальцинированной соды;
- наименее затратным является использование для десульфурации извести. Однако эта технология обеспечивает десульфурацию лишь в ограниченных пределах, уменьшая исходное содержание серы в чугуне только в 5 раз, что чаще всего бывает недостаточно. Также значительный расход извести приводит к большим потерям тепла.
- Следует обратить особое внимание на использование извести в смеси с магнием, что приводит к снижению эффективности воздействия магнезия, так как имеющийся в извести «недопал» (неразложившийся известняк -  $\text{CaCO}_3$ ), а его содержание достигает 10 %, будет реагировать с магнием по реакциям:



Чтобы улучшить эффективность внедоменной десульфурации чугуна смесью «известь+магний», необходимо предъявлять более жесткие требования к подготовке извести, тогда на «недопал» дополнительного расхода магнезия не потребуются.

Известный способ десульфурации чугуна содой малопривлекателен из-за ее значительного испарения, что требует высокой степени очистки отходящих газов и большого расхода материала. Требуемая степень

#### Сведения об авторах

**Потапова Марина Васильевна** – канд. техн. наук, доц. института металлургии, машиностроения и материалобработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: marina\_potapova8@mail.ru.

**Ишмуратов Руслан Айбулатович** – студент группы МЧМБ-11 института металлургии, машиностроения и материалобработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: metallurg09.05@yandex.ru

**Насыров Тимур Мухтасарович** – магистрант института металлургии, машиностроения и материалобработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: tim-urr@mail.ru.



десульфурации достигается при следующем расходе соды, представленном в табл. 3 [1].

Таблица 3  
Расход соды в зависимости от степени десульфурации

Степень десульфурации, %	20	30	50	60	75
Расход соды, кг/т	2,5	4,0	6,2	7,3	20

Кроме того, при использовании соды развивается реакция взаимодействия содового шлака с огнеупорами ковша, что сокращает срок службы футеровки почти вдвое. Поэтому соду как десульфуратор обычно применяют только для незначительного уменьшения содержания серы или в особых случаях, например в сочетании с окалиной для получения чугуна с пониженным содержанием серы и фосфора одновременно.

Использование карбида кальция требует специальных мер безопасности при обработке чугуна и хранении получаемого шлака, в котором имеется остаточное количество непрореагировавшего карбида.

В заключение необходимо отметить, что в настоящее время лучшим десульфуратором может быть признан магний, применение которого позволяет получать низкое и сверхнизкое содержание серы в чугуне. Гранулированный магний вводят путем дувания в струе газа-носителя через фурму или в виде порошковой проволоки с помощью трайб-аппарата.

#### Список литературы

1. Воронова Н.Л. Десульфурация чугуна магнием: учебник. М.: Металлургия, 1980. 239 с.
2. Сопоставление эффективности способов десульфурации чугуна / Шевченко А.Ф., Двоскин Б.В., Вергун А.С. и др. // Сталь. 2000. №8. С.14-17.
3. Определение оптимальной скорости ввода порошковой проволоки с магнием при десульфурации чугуна / Крупенников С.Л., Филимонов Ю.П., Мазуров Е.Ф., Кузьменко А.Г. // Сталь. 2000. №8. С.8-21.

# МЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ

УДК 669.1

Метелкин А.А., Шешуков О.Ю., Некрасов И.В., Егиазарян Д.К.

## ГОМОГЕНИЗАЦИЯ КОВШЕВЫХ ШЛАКОВ В УСЛОВИЯХ ОАО «ЕВРАЗ НТМК»

**Аннотация.** Проанализированы факторы, влияющие на стойкость футеровки металлургических агрегатов, представлены способы обработки шлаков, стали, методика определения количества нерастворённых кристаллов и состава жидкой фазы гетерогенного шлака.

**Ключевые слова:** футеровка, шлак, сталь, свойства шлаков, нерастворённые кристаллы, добавки.

Актуальность работ по повышению стойкости футеровки металлургических агрегатов очевидна [1]. Помимо совершенствования дизайна собственно огнеупоров одним из направлений решения сложной задачи повышения их стойкости является обеспечение более благоприятных условий эксплуатации [2], поскольку считается, что основной износ огнеупорных изделий (около 2/3) осуществляется химическим путем - растворением в шлаке [3] и, таким образом, связан с технологическими факторами.

В работах [4-6] обобщены многолетние исследования роли различных факторов, влияющих на износ футеровки металлургических агрегатов на участке внепечной обработки стали (ВОС) конвертерного цеха ОАО «ЕВРАЗ НТМК». Масштаб проблемы ясен из следующего факта: в конвертерном цехе доля затрат на приобретение ковшевых огнеупоров составляет 32% от общих расходов на огнеупорные материалы [1], поэтому повышение стойкости футеровки рассматривается как резерв снижения себестоимости металла и повышения технико-экономической эффективности. Среди факторов, влияющих на износ огнеупоров, следует выделить время их контакта с расплавом и растворяющую (коррозионную) активность шлака.

Данные факторы напрямую связаны с технологией обработки стали, и подбор рациональных составов шлаков, обладающих низкой агрессивностью к футеровке, осложняется требованием к обеспечению достаточных рафинирующих свойств. При этом повышение рафинирующих свойств шлака, например десульфурующей способности, должно приводить к снижению времени обработки металла и, соответственно, контакта огнеупора с расплавами. Таким образом, оптимизация шлакового режима агрегатов внепечной обработки является комплексной задачей.

Для обеспечения хороших рафинирующих свойств шлак должен обладать низкой вязкостью. Таким требованиям отвечают гомогенные шлаки с низким содержанием твердой фазы [7-9]. Традиционно для гомогенизации ковшевого шлака используется плавиковый шпат. Однако его применение имеет ряд существенных недостатков: фторид кальция чрезвы-

чайно ускоряет разъедание футеровки сталеразливочных ковшей и вакуум-камер, кроме того, в условиях высоких температур происходит частичное испарение  $\text{CaF}_2$ , приводящее к ухудшению экологической обстановки. В том числе по данным причинам на современных предприятиях стараются ограничить применение фторида кальция другими разжижающими добавками.

Разжижить шлак понижением его основности (как зачастую делается на ОАО «ЕВРАЗ НТМК») нецелесообразно. Увеличение содержания  $\text{SiO}_2$  снизит количество свободных анионов кислорода, что негативно отразится на серопоглотительной способности шлака. Известен альтернативный опыт использования глиноземистых шлакообразующих при внепечной обработке, однако при их использовании не всегда удастся избежать необходимости использования плавикового шпата: как правило, не на всех плавках ввод глинозема в шлак исключает необходимость использования шпата. Для определения причин в данном исследовании был определен характер изменения технологических свойств шлака: вязкости и степени гетерогенности (содержания в нем твердых частиц) в зависимости от массы вводимого в ковш глиноземосдержавшего материала.

Расчет свойств шлака проводили по полимерной модели (ПМ) шлаков [10]. Определение степени гетерогенности проводили по усовершенствованному алгоритму модели [9], позволяющему определять содержание в шлаке количество твердых частиц (рис. 1).

В точке 1, расположенной выше линии ликвидус L, исходный расплав имеет соответствующие температуру и содержание оксида  $\text{MeO}$ . Степень приближения расплава к насыщению  $\text{MeO}$  в полимерной модели оценивается по соотношению двух параметров: термодинамической активности  $\text{MeO}$  в расплаве  $a_{\text{MeO}}^{\text{ПМ}}$ , являющейся функцией состава расплава, и активности насыщения  $\text{MeO}$   $a_{\text{MeO}}^{\text{НАС}}$ , являющейся функцией температуры T [10].

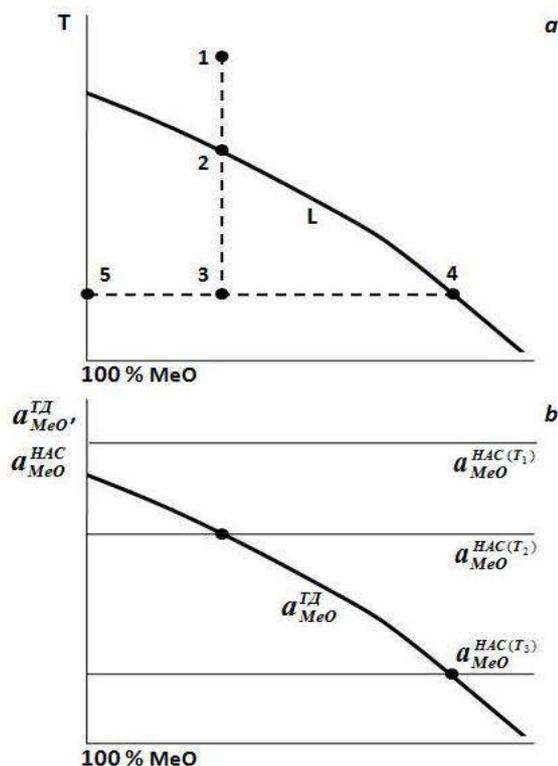


Рис. 1. Принципиальная схема расчёта количества твёрдых частиц в гетерогенном шлаке и состава его жидкой фазы, иллюстрирующая аналогию с методикой расчётов по диаграммам состояния: а – участок гипотетической диаграммы состояния бинарного расплава в координатах «состав» - «температура»; б – соотношение  $a_{MeO}^{TD}$  и  $a_{MeO}^{HAC}$  в том же расплаве при изменениях температуры и состава расплава

В точке 1, с соответствующей температурой  $T_1$ , справедливо неравенство, свидетельствующее о ненасыщенности расплава MeO (рис. 1, а и б):

$$a_{MeO}^{TD} < a_{MeO}^{HAC(T_1)} \quad (1)$$

При понижении температуры от точки 1 до точки 2 (не включая саму точку 2, лежащую на линии ликвидус L) происходит снижение  $a_{MeO}^{HAC}$ , однако  $a_{MeO}^{HAC}$  всё ещё превышает  $a_{MeO}^{TD}$ . В точке 2 активность насыщения MeO, определяемая температурой  $T_2$ , достигает термодинамической активности MeO в расплаве, что свидетельствует о насыщении расплава MeO [10]:

$$a_{MeO}^{TD} = a_{MeO}^{HAC(T_2)} \quad (2)$$

Если и при дальнейшем снижении температуры от точки 2 до точки 3 считать, что состав исходного расплава не изменяется (не снижается содержание MeO), то  $a_{MeO}^{TD}$  становится выше, чем, например,

$a_{MeO}^{HAC(T_3)}$ . Это говорит о том, что гомогенный расплав с исходным содержанием MeO при температурах ниже ликвидуса существовать не может. Поэтому при температуре ниже ликвидуса начинается выделение MeO из гомогенного расплава в таких количествах, чтобы при каждой температуре соблюдалось равенство  $a_{MeO}^{TD}$  и  $a_{MeO}^{HAC}$ , т.е. при понижении температуры от точки 2 до точки 3 изменение состава гомогенного расплава происходит по линии 2-4 (см. рис.1, а).

Таким образом, методика определения количества нерастворённых кристаллов и состава жидкой фазы гетерогенного шлака состоит в следующем:

- определение минимальной температуры, при которой для всех компонентов шлака термодинамические активности не превышают активностей насыщения (определяется температура ликвидус);
- уменьшение содержания тех компонентов в расплаве, для которых по мере снижения температуры ниже ликвидуса  $a_{MeO}^{HAC}$  сравнивается с  $a_{MeO}^{TD}$ ; уменьшение содержания этих компонентов в расплаве производится таким образом, чтобы при каждой температуре  $a_{MeO}^{TD}$  была равна  $a_{MeO}^{HAC}$  (рассчитывается состав жидкой фазы гетерогенного шлака);
- определение массовой доли нерастворённых кристаллов по балансу компонентов исходного расплава при температуре ликвидус и состава жидкой фазы при его гетерогенизации.

Известный состав жидкой фазы позволяет определить её вязкость  $\eta_0$  по моделям для гомогенных систем [10]. Используя формулу Эйнштейна [3] (для определения вязкости суспензии) при имеющихся значениях вязкости жидкой фазы  $\eta_0$  и объёмной доли нерастворённых кристаллов  $\epsilon$ , можно определять эффективную вязкость шлака  $\eta$ .

Были отобраны 11 проб шлака из ковша при внепечной обработке стали и рассчитаны их свойства (рис. 2).

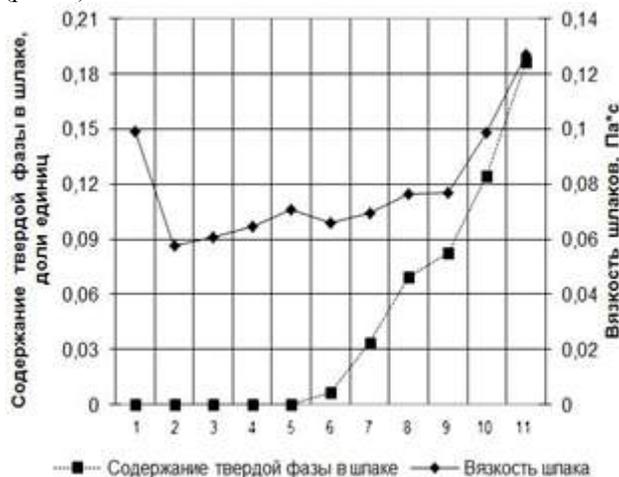


Рис. 2. Степень гетерогенности и вязкость исходных ковшевых шлаков (№ 1 – 11)

Из данных, представленных на рис. 2, следует, что половина шлаков гетерогенна и имеет повышенную вязкость. Для определения возможностей гомогенизации шлаков путем добавки в них глинозема рассчитали эффект от ввода в исходные шлаки глиноземистых брикетов (рис. 3 и таблица).

Химический состав брикетов ОАО «СЕАЛ и К»

Материал	Массовая доля, %								
	Al <sub>мет</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	п.п.п
Брикеты	3,2	55,7	6,04	1,91	12,6	2,74	4,3	3,7	11,9

Из расчетных данных следует, что при определенной добавке (около 250 кг) шлаки гомогенизируются и их вязкость стабилизируется, что исключает необходимость добавки плавикового шпата, т.к. случаев резкого повышения вязкости шлаков нет. Снижение гетерогенности шлака происходит за счет увеличения содержания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, который повышает растворимость CaO.

Снижение твердой фазы в шлаке уменьшает его кажущуюся вязкость, что также повышает рафинирующие свойства шлака и должно снизить время обработки стали в ковше.

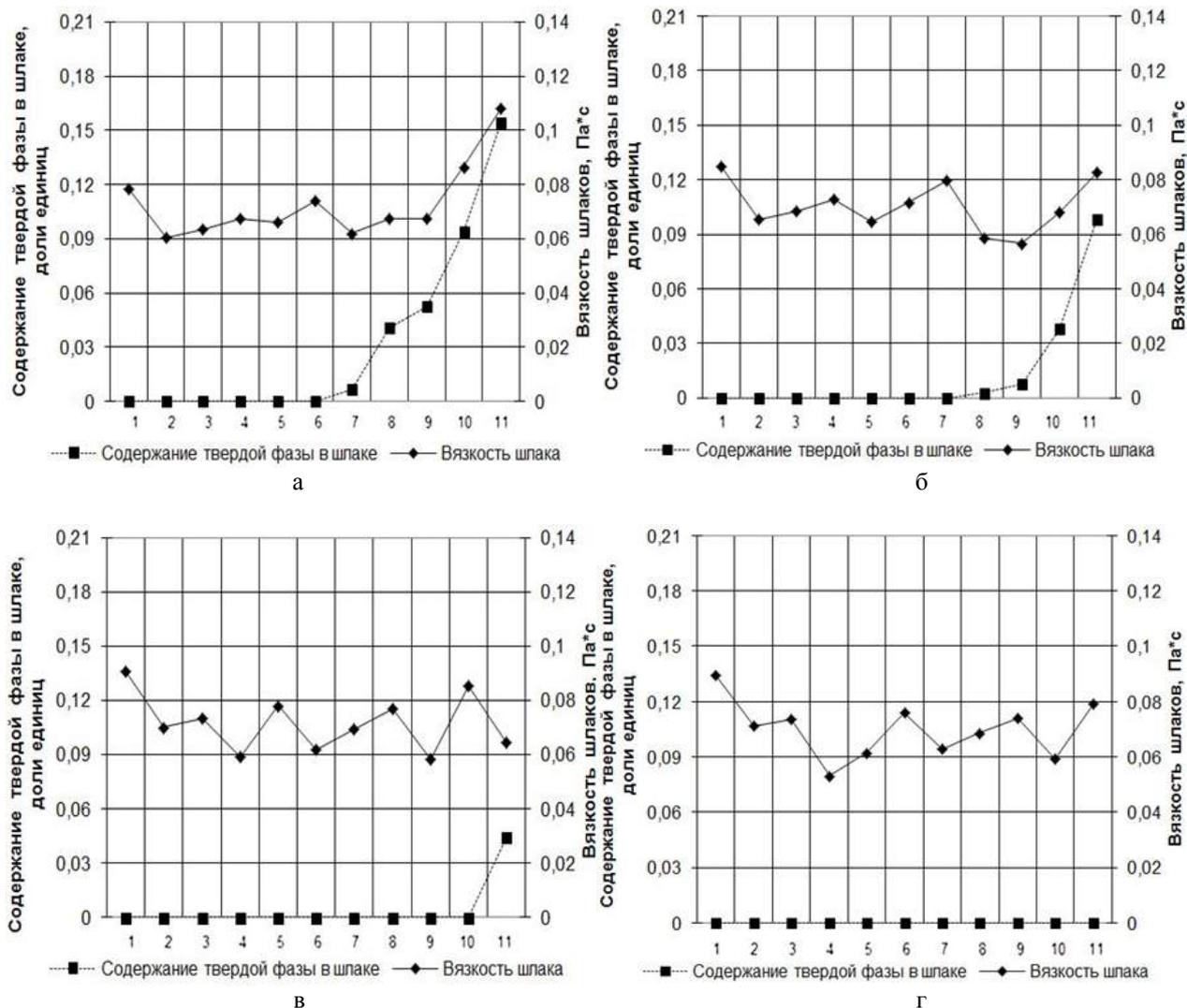


Рис. 3. Степень гетерогенности и вязкость исходных ковшевых шлаков при добавке в 160-т ковш глиноземосодержащих брикетов:  
 а – 50 кг; б – 150 кг; в – 250 кг; г – 350 кг

Таким образом, определен тип материала, необходимого для разжижения шлака, и с помощью полимерной модели рациональный расход глиноземосодержащего материала.

Список литературы

1. Повышение стойкости футеровок металлургических агрегатов – эффективный путь снижения удельных затрат на огнеупорные материалы «ЕВРАЗ НТМК» / С.В. Филатов, Э.А. Вислогузова, М.С. Фомичев, А.В. Шкляев // Энергосберегающие технологии в промышленности.

- Печные агрегаты. Экология: труды VI междунар. науч.-практ. конференции с элементами научной школы для молодежи, посвященной 80-летию ММК. Москва: МИСиС, 2012. 560 с.
2. Вислогузова Э.А., Метелкин А.А. Прогнозирование стойкости рабочей футеровки вакуум-камеры ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат» // Новые огнеупоры. 2006. № 4. С. 64–65.
  3. Стрелов К.К., Кашеев И.Д. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов: учеб. пособие для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Металлургия, 1996. 608 с.
  4. Касьян Г.И., Минц А.Я. Возможность повышения стойкости футеровки сталеразливочных ковшей при использовании магнезиальных добавок // Металл и литье Украины. 2009. № 1-2. С. 23–26.
  5. Оценка влияния агрессивности технологических факторов на износ алюмопериклазоуглеродистых изделий, применяемых в футеровке сталеразливочного ковша / А.А. Метелкин, О.Ю. Шешуков, В.В. Левчук, С.П. Калинин, И.В. Некрасов // Сталь. 2013. № 5. С. 29–31.
  6. Рациональное наведение шлака для повышения стойкости футеровки сталеразливочных ковшей в условиях конвертерного цеха ЕВРАЗ НТМК / О.Ю. Шешуков, В.В. Левчук, С.П. Калинин, А.А. Метелкин, И.В. Некрасов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й межрегион. науч.-техн. конференции. Магнитогорск: Изд-во МГТУ им. Г.И. Носова, 2012. Т.1. С. 186-189.
  7. Бигеев А.М., Бигеев В.А. Металлургия стали. Теория и технология плавки стали: учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. Магнитогорск: МГТУ, 2000. 544 с.
  8. Некрасов И. В. Оценка вязкости гетерогенных оксидных расплавов // Молодой ученый. 2012. № 12. С. 95-98.
  9. Методика оценки вязкости промышленных шлаков / И.В. Некрасов, О.Ю. Шешуков, В.Н. Невидимов, С.А. Истомин // Изв. вузов. Черная металлургия. 2012. № 4. С. 21-24.
  10. Новиков В.К., Невидимов В.Н. Полимерная природа расплавленных шлаков. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. 62 с.

#### Сведения об авторах

**Метелкин Анатолий Алексеевич** – ассистент ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург. E-mail: anatoliy82@list.ru.

**Шешуков Олег Юрьевич** – заведующий лабораторией ФГБун «Институт металлургии» Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург. E-mail: ferro1960@mail.ru.

**Некрасов Илья Владимирович** – старший научный сотрудник ФГБун «Институт металлургии» Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург. E-mail: ivn84@bk.ru.

**Егизарьян Денис Константинович** – аспирант, инженер-исследователь ФГБун «Институт металлургии» Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург. E-mail: avagi@mail.ru.



УДК 621.74.047

Байкин А.А., Столяров А.М., Мошкунов В.В., Казаков А.С.

## РАЗЛИВКА СТАЛИ НА ОДНОРУЧЬЕВОЙ СЛЯБОВОЙ МНЛЗ ЧЕРЕЗ ПОГРУЖНЫЕ СТАКАНЫ РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ

**Аннотация.** В работе сравнивается тепловое состояние стенок кристаллизатора при заливке металла через погружные стаканы разной конструкции. Применение опытного стакана с четырьмя отверстиями позволяет получить более равномерное распределение тепла в верхнем слое металла под покровным шлаком при отливке слябов шириной не более 2050 мм. Это положительно сказывается на качестве отливаемой слябовой заготовки

**Ключевые слова:** слябовая МНЛЗ, погружной стакан, конструкция, кристаллизатор, тепловое состояние, оценка.

В кислородно-конвертерном цехе ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» эксплуатируется одноручьевая МНЛЗ криволинейного типа с вертикальным участком производства фирмы «SMS Siemag» [1–3]. Сталь из 385-тонного сталеразливочного ковша подается сначала в 50-тонный промежуточный ковш, а затем в вертикальный кристаллизатор высотой 900 мм. Для разлива стали закрытой струей применяются серийные погружные стаканы с двумя

боковыми выходными отверстиями (рис. 1) разных типов:

	Размеры (мм):	
	головки	выходного отверстия
Первый тип стакана	185×125	130×69
Второй тип стакана	185×115	110×69

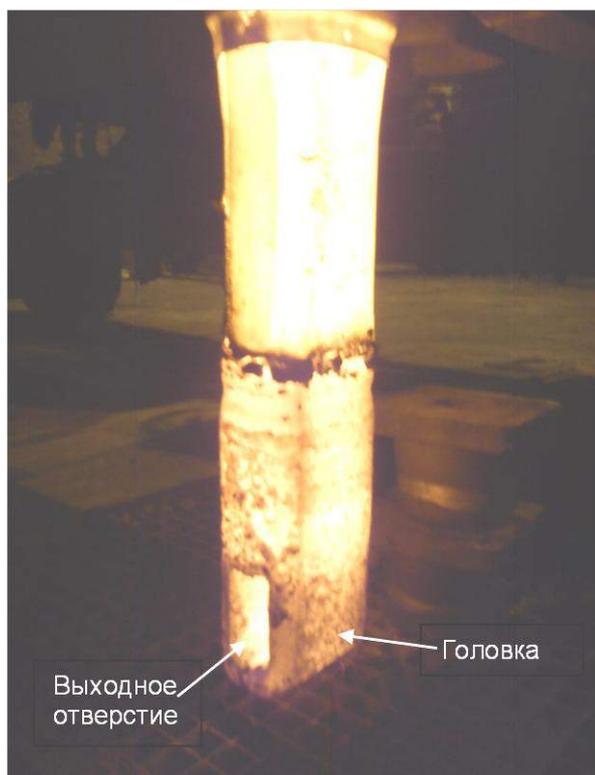


Рис. 1. Вид серийного погружного стакана с двумя боковыми выходными отверстиями

Из представленных данных видно, что погружные стаканы отличаются тем, что стакан второго типа имеет меньшие на 10 мм толщину головки и на 20 мм высоту выходных отверстий. Стакан первого типа используется для отливки слэбов, имеющих толщину 250, 300 мм и ширину 2050–2700 мм, а стакан второго типа – для отливки слэбов такой же толщины и меньшей ширины: от 1400 до 2000 мм. Величина заглубления стакана, равная расстоянию от поверхности жидкого металла в кристаллизаторе до верхнего края выходного отверстия погружного стакана, изменяется в достаточно широком диапазоне: от 120 до 220 мм. Опыт эксплуатации серийных стаканов обоих типов показал, что эти стаканы не всегда обеспечивают достаточно высокую и одновременно, что исключительно важно, равномерную температуру металла в верхних слоях жидкого металла. Следствием этого является несвоевременное и некачественное расплавление шлакообразующей смеси, подаваемой на поверхность жидкого металла в кристаллизатор. Это вызывает ухудшение смазывающей функции шлака между трущимися поверхностями кристаллизатора и твердой оболочки заготовки, что может привести к ее подвисанию, аварийному прорыву металла под кристаллизатором или снижению качества поверхности слэба. Кроме того, снижается ассимилирующая способность шлака.

Для оптимизации потоков заливаемого в кристаллизатор жидкого металла специалистами фирмы «Vesuvius» после проведения сравнительных модель-

ных испытаний была предложена новая конструкция погружного стакана с четырьмя отверстиями в головке (рис. 2).

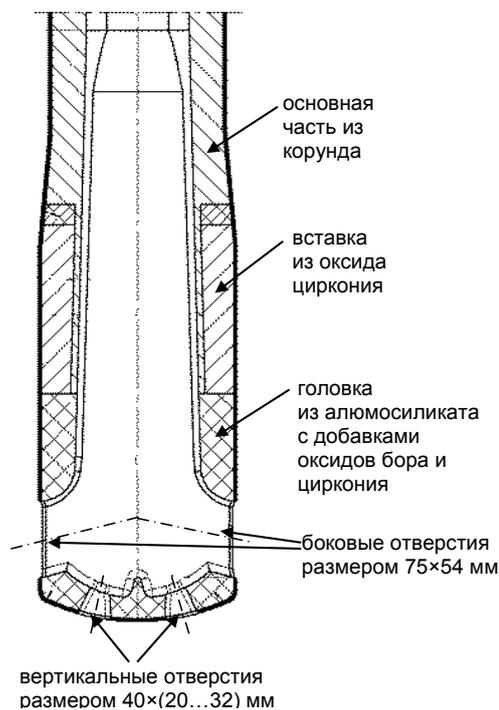


Рис. 2. Схема нижней части нового погружного стакана

Кроме двух боковых отверстий уменьшенного размера дополнительно сделаны еще два небольших вертикальных отверстия. Опытный стакан был рекомендован для проведения испытаний при отливке слэбов всех типоразмеров.

В настоящей работе приводятся данные сравнительных испытаний двух типов серийных и опытного стаканов. В процессе испытаний оценивалось тепловое состояние стенок сборного кристаллизатора при заливке в него металла через погружные стаканы различной конструкции. Для этого использовались показания верхнего ряда термопар, смонтированных в медные плиты на расстоянии 180 мм от их верхнего края, за определенный период времени. Наиболее характерные данные были получены в результате проведения опытов, условия которых приведены в табл. 1.

Данные о тепловом состоянии кристаллизатора в проведенных опытах представлены в табл. 2. Здесь приведены средние значения температуры каждой стенки сборного кристаллизатора, полученные при обработке массивов измерений температуры большого объема. Равномерность температурного поля стенок кристаллизатора может быть оценена по относительной величине стандартного отклонения значений температуры от ее среднего значения, так как данный параметр является традиционной характеристикой рассеяния измерений относительно центра выборки.

Таблица 1

Условия проведения опытов

Параметр	Условный номер опыта					
	1а	1б	2а	2б	3а	3б
Марка стали	09Г2С		17Г1СУ		К60	
Сечение сляба, мм	300×1560		250×2050		300×2600	
Скорость вытягивания, м/мин	0,8		1,0		0,75	
Стакан	Серийный второго типа	Опытный	Серийный первого типа	Опытный	Серийный первого типа	Опытный
Величина заглупления стакана, мм	130	200	130	170	148	170
Количество термпар*, шт.	8 / 2		10 / 2		14 / 2	

\* Числитель – количество термпар в каждой широкой стенке кристаллизатора, знаменатель – в каждой узкой стенке.

Таблица 2

Характеристика теплового состояния кристаллизатора

Параметр	Условный номер опыта					
	1а	1б	2а	2б	3а	3б
Количество измерений температуры*, шт.	<u>2104</u> 526	<u>1472</u> 368	<u>1980</u> 396	<u>2280</u> 456	<u>3360</u> 480	<u>3304</u> 472
Широкая стенка по большому радиусу						
Средняя температура, °С	114,1	117,8	131,1	160,3	116,1	130,1
Стандартное отклонение**	<u>2,3</u> 2,0	<u>2,0</u> 1,7	<u>1,1</u> 0,8	<u>1,9</u> 1,2	<u>1,6</u> 1,4	<u>1,7</u> 1,3
Широкая стенка по малому радиусу						
Средняя температура, °С	119,3	115,0	130,5	160,4	120,6	125,2
Стандартное отклонение**	<u>2,1</u> 1,8	<u>1,8</u> 1,6	<u>1,6</u> 1,2	<u>1,6</u> 1,0	<u>1,8</u> 1,5	<u>1,7</u> 1,4
Левая узкая стенка						
Средняя температура, °С	131,7	130,7	120,3	137,6	129,5	137,9
Стандартное отклонение**	<u>3,2</u> 2,4	<u>2,2</u> 1,7	<u>3,9</u> 3,2	<u>4,4</u> 3,2	<u>2,8</u> 2,2	<u>3,7</u> 2,7
Правая узкая стенка						
Средняя температура, °С	129,4	122,7	114,8	124,2	123,6	135,9
Стандартное отклонение**	<u>4,0</u> 3,1	<u>1,2</u> 1,0	<u>1,5</u> 1,3	<u>1,9</u> 1,5	<u>1,4</u> 1,1	<u>2,9</u> 2,2

\* Числитель – количество измерений температуры широкой стенки кристаллизатора, знаменатель – узкой стенки.

\*\* Числитель – абсолютное значение стандартного отклонения (°С), знаменатель – относительное значение (%).

Из табл. 2 видно, что лучшие результаты по достижению равномерного теплового поля стенок кристаллизатора получены при использовании опытного погружного стакана в опыте 1б. Особенно существенным являются различия относительного стандартного отклонения температуры узких стенок кристаллизатора в опытах 1а и 1б: для левой стенки – на 29 % (отн.), а для правой еще больше – на 68 % (отн.). В этом опыте отливались слябы сечением 300×1560 мм при значительной разнице в заглуплении погружных стаканов. Опытный стакан устанавливался на 70 мм глубже, чем серийный стакан второго типа.

При отливке слябов шириной более 2050 мм результаты использования опытного стакана в сравнении с серийным стаканом первого типа получились хуже.

Анализ качества толстого горячекатаного листа толщиной от 16 до 25,4 мм показал, что при переработке слябов шириной до 2050 мм включительно, отлитых с использованием опытного стакана (3600 т), в сравнении со слябами аналогичной ширины с применением серийного стакана второго типа (21300 т) получено снижение величины отсортировки и отбраковки продукции на 59 % (отн.). Для листов толщиной 12–21,6 мм, прокатанных из слябов шириной 2550–2600 мм, выявлено, наоборот, увеличение отсортировки и отбраковки на 83 % (отн.) при использовании опытного стакана (металл в количестве 4400 т) вместо серийного стакана первого типа (9000 т). Основными причинами отсортировки и отбраковки толстого горячекатаного листа являлись результаты ультразвукового контроля продукции и неметаллические включения.

Таким образом, погружной стакан с четырьмя выходными отверстиями целесообразно применять при отливке слябов шириной не более 2050 мм.

### Список литературы

1. Столяров А.М., Мошкунов В.В., Казаков А.С. Мягкое обжатие слябов при разливе трубной стали на криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 116 с.
2. Опыт эксплуатации новой одноручьевого слябовой МНЛЗ с вертикальным участком / Прохоров С.В., Сарычев Б.А., Казаков А.С., Мошкунов В.В., Столяров А.М. // Сталь. 2012. №7. С. 9 – 11.
3. Мошкунов В.В., Столяров А.М. Использование мягкого обжатия непрерывнолитого сляба на криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. Вып. 10. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. С. 57 – 62.

## Сведения об авторах

**Байкин Александр Александрович** – магистрант группы ММЧ-12 института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: BayKing@jandex.ru.

**Столяров Александр Михайлович** – д-р техн. наук, проф. института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: mchm@magtu.ru.

**Мошкунев Владимир Викторович** – канд. техн. наук, инженер-технолог лаборатории непрерывной разливки стали ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». E-mail: moshkunov.w@mmk.ru.

**Казаков Александр Сергеевич** – канд. техн. наук, ведущий специалист лаборатории непрерывной разливки стали ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». E-mail: kazakov.as@mmk.ru.



УДК 669.168

Колесников Ю.А., Буданов Б.А., Сергеев Д.С.

## АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ В КОНВЕРТЕРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИДЕРИТОВОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ

**Аннотация.** Представлен анализ результатов расчета по математической модели параметров технологии выплавки стали с использованием сидеритовой железной руды и твердого чугуна в конвертере для условий ОАО «ММК».

**Ключевые слова:** конвертер, параметры технологии, расчет, сидеритовая железная руда, твердый чугун.

Сидеритовая железная руда Бакальского месторождения фракции 13–60 мм, поступающая на обогащение, в среднем содержит 29,73% Fe в виде карбоната, 11,0% MgO, 4,8% CaO, 1,5% MnO, 8,4% SiO<sub>2</sub>, 33,9% п.п.п. Такую руду можно использовать как шлакообразующий материал и охладитель при выплавке стали в конвертере [1]. Наличие железа в руде и карбонатная форма ее элементов могут оказывать влияние на выход жидкого металла и тепловой режим плавки.

Для оценки влияния массы сидерита на технологические параметры выплавки стали в конвертере были проведены расчеты в электронных таблицах Microsoft Excel по математической модели путем совместного решения балансовых уравнений методом итераций [2]. Математическая модель была адаптирована к конкретным производственным условиям путем минимизации отклонений фактических и расчетных значений контролируемых параметров плавки (количество чугуна, лома, извести, доломита, кислорода и др. на плавку, составов металла и шлака и пр.) [3].

Результаты расчетов показали, что увеличение расхода сидерита на плавку до 16 т не приводит к ухудшению показателей плавки, но сопровождается уменьшением расхода металлического лома и увеличением массы жидкого чугуна. Это требует увеличения расхода дутья и продолжительности продувки [1].

Представляет интерес вариант технологии вы-

плавки стали в конвертере с использованием твердого чугуна и сидеритовой железной руды в качестве охладителей в условиях дефицита и дороговизны металлического лома. В этом случае параметры технологии можно определить расчетом по опробованной математической модели базового варианта [1] при различных соотношениях количества твердого чугуна и металлического лома.

Состав металлических материалов для этих вариантов расчета представлен в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1  
Состав металлических материалов, %

Химические элементы	Чугун	Лом	70% лом + 30% тв. чугун	50% лом + 50% тв. чугун	Сталь	
					до раскисления	готовая
Углерод	4,300	0,200	1,350	2,250	0,035	0,044
Кремний	0,730	0,150	0,264	0,440	0,0055	0,012
Марганец	0,400	0,400	0,240	0,400	0,034	0,242
Фосфор	0,065	0,040	0,031	0,052	0,009	0,010
Сера	0,027	0,040	0,020	0,033	0,013	0,013
Хром	0,035	0,070	0,031	0,052	0,013	0,013
Ванадий	0,100	0,000	0,030	0,050	0,010	0,010
Алюминий	0,000	0,001	0,003	0,005	0,000	0,046
Медь	0,000	0,150	0,045	0,075	0,035	0,035
Никель	0,000	0,080	0,024	0,040	0,019	0,019

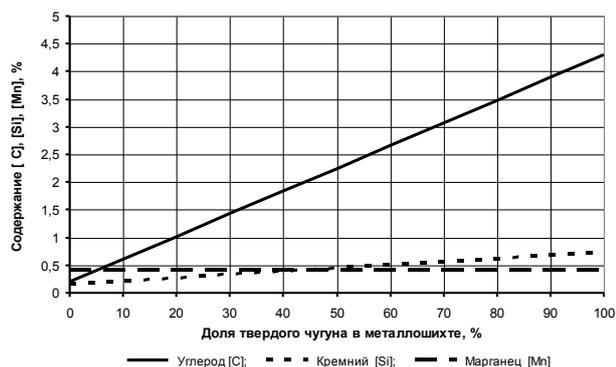


Рис. 1. Состав твердой металлошихты

Расход материалов на плавку для базового варианта, когда основным охладителем служит металлический лом, частично замененный известняком и сырым доломитом, а сидеритовая руда не используется, приведен в табл.2.

Таблица 2

Расход материалов на плавку

Масса материала, т	Базовый вариант	С сидеритом	С твердым чугуном и сидеритом
Чугун жидкий	318,900	319,000	320,900
Чугун твердый	0,000	0,000	42,800
Лом металлический	85,713	83,884	42,847
Масса металлошихты	404,614	402,884	406,547
Известняк	4,046	0,000	0,000
Сырой доломит	4,046	0,000	0,000
Известь	18,656	22,133	25,631
Доломит железный	16,185	16,116	16,262
Сидерит	0,000	6,043	12,196

В этой таблице представлены также расчетные данные для базового варианта технологии с заменой известняка и сырого доломита сидеритовой железной рудой, вариант с использованием твердого чугуна и металлического лома (по 50% каждого в общей массе) и сидерита.

Из данных табл.2 следует, что в заданных условиях без использования твердого чугуна 6 т сидеритовой руды заменяют 4 т известняка и 4 т сырого доломита, а расход лома на плавку уменьшается на 2 т. Вариант технологии с применением твердого чугуна в количестве 50 % от массы твердой металлошихты сопровождается повышенным расходом извести на плавку (см. табл.2) и дутья (табл.3).

Таблица 3

Параметры дутьевого режима

Параметры	Базовый вариант	С сидеритом (6 т)	С твердым чугуном и сидеритом (12 т)
Расход дутья, м <sup>3</sup>	20667	20342	22533
Интенсивность продувки, м <sup>3</sup> /мин	1136	1136	1136
Продолжительность продувки, мин	18,2	17,9	19,8

Использование твердого чугуна в металлошихте и сидерита в качестве дополнительного охладителя приводит к увеличению массы образующегося в конвертере шлака и изменению выхода жидкого металла (табл.4).

Таблица 4

Выход металла и шлака

Параметры	С сидеритом (6 т)	С твердым чугуном (30%) и сидеритом (8 т)	С твердым чугуном (50%) и сидеритом (12 т)
Выход жидкого металла, %	88,1	87,8	87,3
Выход шлака, т	88,9	91,7	97,6

В зависимости от доли твердого чугуна в металлошихте меняется масса сидерита и извести на плавку (рис.2).

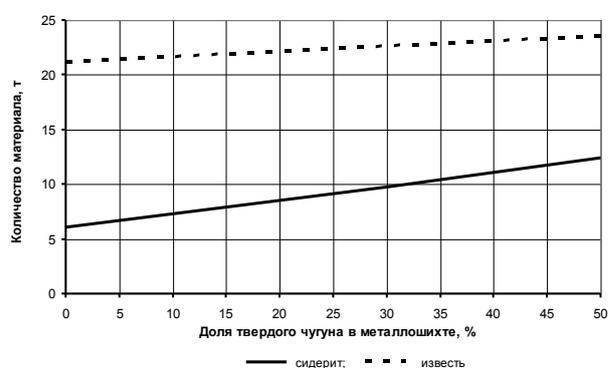


Рис. 2. Изменение расхода сидерита и извести на плавку при использовании твердого чугуна в металлошихте

Как видно из табл.4, совместное применение металлического лома, твердого чугуна и сидеритовой железной руды в качестве дополнительного охладителя металла во время продувки заметно увеличивает массу образующегося в конвертере шлака. В то же время выход жидкого металла практически не меняется. Очевидно, шлаковый режим конвертерной плавки стали с использованием сидерита должен предусматривать промежуточное удаление шлака из конвертера во время продувки.

Для базового варианта плавки стали охлаждающий эффект 1% металлического лома (4 т) составил 16°С. В то же время аналогичная масса (4 т) сидеритовой железной руды снижает температуру металла на 40°С. По охлаждающему эффекту 1 т сидерита заменяет 2,6 т металлического лома.

Таким образом, расчетом определены параметры технологии выплавки стали в конвертерном цехе ОАО «ММК» с использованием сидеритовой железной руды и твердого чугуна в металлошихте совместно с металлическим ломом в количестве до 50% каждого. При этом потребуется до 12 т сидеритовой руды. Масса жидкого чугуна на плавку и соответствен-

но масса металлошхты увеличивается на 2 т. Показано, что продувка в конвертере должна сопровождаться увеличением расхода кислорода примерно на 2000 м<sup>3</sup> и промежуточным спуском шлака. Охлаждающий эффект сидеритовой руды в 2,6 раза превышает охлаждающий эффект металлического лома.

### Список литературы

1. Бигеев В.А., Колесников Ю.А. Прогнозирование технологических параметров выплавки стали в конвертере с использованием сидерита // 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, 2011. Вып. 11. С. 30 – 36.  
 2. Колесников Ю.А. Расчет расхода лома на плавку стали в конвертере с использованием электронных таблиц // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2006. Вып. 6. С. 34–39.  
 3. Современные возможности развития расчетов плавки стали на персональных компьютерах / В.Н. Селиванов, Ю.А. Колесников, Б.А. Буданов и др. // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2003. Вып. 3. С. 51–58.

### Сведения об авторах

**Колесников Юрий Алексеевич** – канд. техн. наук, доц. института металлургии, машиностроения. и материалобработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519) 29-84-49.

**Буданов Борис Александрович** – канд. техн. наук, доц. института металлургии, машиностроения и материалобработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 29-84-49.

**Сергеев Дмитрий Станиславович** – аспирант института металлургии, машиностроения и материалобработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 29-84-49.



УДК 659.162.221.2

Скобельцын М.А., Селиванов В.Н.

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОГО ЦЕХА НА КАЧЕСТВО МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ

**Аннотация.** Выявлена тенденция увеличения отсортировки металла в зависимости от положения плавки в серии разливки и состояния промежуточного ковша. Методами дисперсионного анализа найдены технологические факторы кислородно-конвертерного цеха, которые приводят к увеличению отсортировки металла на плавках, разлитых первыми в серии и на новый промежуточный ковш.

**Ключевые слова:** температура разливки, отсортировка металла, положение плавки в серии, дисперсионный анализ, неметаллические включения.

В июле 2009 г. в ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» введен в эксплуатацию стан 5000, предназначенный для производства толстого листа. За период работы цеха выяснилось, что основными дефектами металлургического происхождения, приводящими к отсортировке листа, являются «неметаллические включения» и «несоответствие класса сплошности». Было замечено, что отсортировка по дефекту «неметаллические включения» существенно возрастает на плавках, разлитых первыми в серии и первыми с новым промежуточным ковшом.

Для изучения факторов и причин, которые влияют на увеличение отсортировки металла на плавках, разлитых первыми в серии и первыми на промежуточный ковш, были проанализированы результаты прокатки 116 тыс. т низколегированной стали класса

прочности К60 и К65. Результаты анализа представлены в табл.1.

Таблица 1

Отсортировка по результатам контроля микроструктуры металла и результатам ультразвукового контроля плавков, различных по положению в серии непрерывной разливки

Операция	Отсортировка, %		
	по неметаллическим включениям	по ультразвуковому контролю	суммарная
«Запуск»	5,73	0,70	6,43
Замена промежуточного ковша	3,78	0,65	4,43
Окончание разливки серии плавков	0,54	0,93	1,47
Без операций	0,76	0,76	1,52

Из табл. 1 видно, что отсортровка на плавках, разлитых первыми в серии («запускные»), и на плавках после замены промежуточного ковша выше, чем на плавках, разлитых в серии без проведения технологических операций, в 4 и 3 раза соответственно.

В кислородно-конвертерном цехе металл в потоке листопрокатного цеха №9 в основном разливается на машине непрерывного литья заготовок №6 (МНЛЗ-6). Всего за 2013-й год на МНЛЗ-6 разлито 1 млн т металла. Средняя серийность МНЛЗ-6 за этот период составляет 4,42 плавки, т.е. каждая четвертая – пятая плавка является «запускной». Всего за этот период в «запускных» плавках на МНЛЗ-6 разлито примерно 230 тыс. т стали. К этим данным следует еще прибавить плавки, которые разлиты первыми через «новый» промежуточный ковш. Однако по ним привести статистику не представляется возможным, так как количество плавков, разливаемых через один промежуточный ковш, определяется по состоянию его футеровки и стопоров, а также по количеству и составу шлака на зеркале металла.

Так как доля металла, разлитого на новый промежуточный ковш, является существенной, то целесообразно выявить отличия в технологии выплавки, доводки и разливки металла этих плавков от металла, разлитого в других плавках серии.

Весь металл выплавляется в кислородных конвертерах. Затем производится внепечная обработка стали и разливка металла на МНЛЗ. Для анализа были выбраны следующие технологические параметры:

- по конвертерному отделению: расход лома на плавку, расход чугуна на плавку, расход кислорода на продувку металла в конвертере, окисленность металла в конвертере в конце продувки, содержание FeO в конвертерном шлаке, температура металла в конце продувки, содержание углерода после продувки металла в конвертере;
- по отделению внепечной обработки стали: химический состав металла в начале обработки (содержание C, Si, Mn, S, P), температура отдачи металла в отделение непрерывной разливки стали;
- по отделению непрерывной разливки: температура металла в промежуточном ковше, перегрев металла над температурой ликвидус в сталеразливочном и промежуточном ковше.

Во время разливки каждой плавки производят три замера температуры стали в промежуточном ковше: первый – после разливки 30-50 т металла, второй – в середине разливки (180-200 т металла в сталеразливочном ковше), третий – при остатке металла в сталеразливочном ковше 60-80 т. Температура металла по результатам трех замеров должна укладываться в интервал «температура ликвидус + (10...35)°C».

Температура ликвидус согласно технологической инструкции рассчитывается по формуле

$$T_{л} = 1536,6 - (86C + 8Si + 5Mn + 4Ni + 5Cu + 2Mo + 2V + 1,5Cr + 25S + 30P + 5Al + 17Ti + 90N),$$

где C, Si, Mn, Ni, Cu, Mo, V, Cr, S, P, Al, Ti, N – массовая доля элементов в металле, %.

Анализом установлено, что основное отличие в технологии выплавки, доводки и разливки между плавками, разлитыми первыми в серии и на новый промежуточный ковш, от остальных плавков серии, заключается в более высокой температуре отдачи металла в отделение непрерывной разливки стали и, как следствие, более высоком перегреве металла над температурой ликвидус по трем замерам в промежуточном ковше (рис. 1 и 2).



Рис. 1. Температура отдачи металла в ОНПС «запускных» (○) и остальных плавков серии (●)

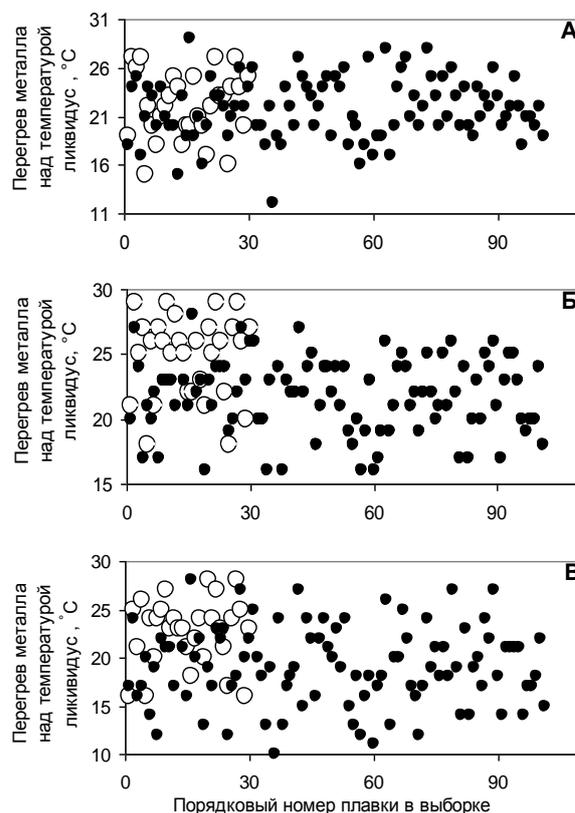


Рис.2. Перегрев над температурой ликвидус в промежуточном ковше: А – первый замер; Б – второй замер; В – третий замер (обозначение, как на рис. 1)

Из рис.1 и 2 видно, что температура отдачи плавков в отделение непрерывной разливки стали и перегрев металла над температурой ликвидус выше на

«запускных» плавках и плавках, разлитых первыми через новый промежуточный ковш. В табл. 2 приведены средние значения этих параметров для сравниваемых групп плавков.

Таблица 2  
Сравнение средних значений технологических параметров на плавках различных в серии

Технологический параметр	Среднее значение	
	«запуск» и замена промежуточного ковша	остальные плавки
Температура отдачи плавков в отделение непрерывной разливки, °С	1567	1563
Перегрев металла над температурой ликвидус в промежуточном ковше, °С		
первый замер	22,0	21,8
второй замер	24,8	21,6
третий замер	22,6	19,0

Сравнив средние результаты технологических параметров на «запускных» плавках и плавках, разлитых через новый промежуточный ковш, с плавками, разлитыми в серии, можно сделать следующие выводы:

- температура отдачи в отделение непрерывной разливки стали выше в среднем на 4°С на «запускных» и плавках, разлитых на новый промежуточный ковш;
- перегрев металла над температурой ликвидус по второму и третьему замерам в среднем выше на 3°С на «запускных» и плавках, разлитых на новый промежуточный ковш;
- перегрев металла над температурой ликвидус по первому замеру в промежуточном ковше практически одинаков на всех плавках серии.

Эти выводы подтверждаются данными однофакторного дисперсионного анализа, при котором для сравниваемых выборок были получены следующие значения критерия Фишера:

#### Сведения об авторах

**Скобельцын Михаил Андреевич** – инженер I категории ТУ ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». E-mail: skobeltsy.n.MA@mmk.ru. Тел.: 8(3519) 24-79-39.

**Селиванов Валентин Николаевич** – канд. техн. наук, проф. института металлургии, машиностроения и материаловедения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 29-84-49.



Температура отдачи плавков в отделение непрерывной разливки	40,5
Перегрев металла над температурой ликвидус в промежуточном ковше:	
первый замер	0,17
второй замер	22,83
третий замер	19,2

Критическое значение критерия Фишера для сравниваемых выборок при уровне значимости  $\alpha=0,05$  составляет 3,91. Следовательно, металл «запускных плавков», а также плавков, разливаемых через промежуточный ковш с новой футеровкой, имеет более высокую температуру как в сталеразливочном, так и в промежуточном ковшах, однако в начале разливки, при первом замере температуры в промежуточном ковше, это различие не является статистически значимым.

Вообще говоря, повышенная температура разливаемой стали может быть причиной увеличения количества оксидных неметаллических включений, образующихся в кристаллизаторе и ведущих к повышенной отсортировке металлопродукции по дефекту «неметаллические включения». Однако снижать температуру разливки плавков, разливаемых через промежуточный ковш с новой футеровкой, нецелесообразно. Совершенно очевидно, что первые порции разливаемой стали, поступающие в промежуточный ковш с новой футеровкой, будут интенсивнее охлаждаться, чем металл, разливаемый позднее, когда футеровка уже прогреется до рабочей температуры. Снижение температуры металла может привести к нарушению температурного режима разливки. Поэтому следует изыскивать другие возможности для уменьшения загрязненности первых плавков неметаллическими включениями. В этом плане представляется перспективным повышение стойкости огнеупорной футеровки и стопоров, а также разработка новых, более эффективных шлакообразующих смесей как для промежуточного ковша, так и для кристаллизатора МНЛЗ.

УДК 621.746.628.001.57

Дюльдина Э.В., Коротин А.В.

## ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ШЛАКА ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ ЕГО МАССЫ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ МНЛЗ

**Аннотация.** Проведено исследование изменения химического состава шлака при увеличении его массы и влияние шлакообразующей смеси, неметаллических включений и огнеупорных материалов на его образование.

**Ключевые слова:** шлакообразующая смесь, химический состав, шлак, неметаллические включения, футеровка.

При непрерывной разливке стали в промежуточный ковш периодически вводятся шлакообразующие смеси (ШОС) для получения шлака, выполняющего функции по изоляции поверхности жидкого металла и ассимиляции всплывающих неметаллических включений. В процессе разливки стали химический состав шлака существенно меняется, что оказывает влияние на его свойства и выполнение им его функций.

Для более детального изучения шлакообразования в промежуточном ковше было проведено исследование изменения химического состава шлака при разливке трех серий опытных плавок на четырехручьева слябовой МНЛЗ. Серии опытов различались материалом футеровки промежуточного ковша и марками разливаемой стали. Основные данные, характеризующие проведенный эксперимент, представлены в табл. 1.

Таблица 1  
Основные параметры проведения опытов

Но- мер се- рии	Матери- ал футе- ровок*	Марка стали	Количе- ство ковшей в серии	Масса стали, т	Длитель- ность раз- ливки, ч	Расход ШОС, кг/т стали
1	ШК	08Ю	9	3291	7,7	0,20
2	ШК	17Г1С-У	5	1875	6,8	0,22
3	ТМ	08Ю	10	3722	8,6	0,25

\* ШК – шамотный кирпич, ТМ – торкрет-масса на основе оксида магния.

Для наведения шлака использовали гранулированную шлакообразующую смесь, содержащую в среднем 38,9% CaO, 30,2% SiO<sub>2</sub>, 8,7% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 4,7% MgO, 2,7% F и около 4% С. В небольшом количестве в смеси присутствовали оксиды натрия, калия и железа.

Для углубленного изучения процесса шлакообразования с выявлением количественных зависимостей была разработана специальная методика анализа экспериментальных данных, которую можно назвать синтезом результатов экспериментов и математической модели шлакообразования. Её основная идея состоит в том, что если известны:

- с одной стороны, масса шлакообразующей смеси, её химический состав и химический состав всех огнеупоров, соприкасающихся со шлаком,
- а с другой стороны, химический состав образовавшегося шлака,

то можно рассчитать:

- количество огнеупорных материалов, растворившихся в шлаке,
- количество и химический состав всплывших неметаллических включений.

Результаты расчета изменения количества и толщины слоя шлака представлены на рис. 1. При расчете толщины слоя шлака плотность его по результатам проведенного ранее экспериментального исследования [1] была принята равной 3,4 г/см<sup>3</sup>.

При составлении единого вычислительного комплекса дополнительно к балансовым уравнениям были использованы математические зависимости, отражающие следующие предположения:

- масса растворившихся в шлаке огнеупорных материалов (футеровки, разделительных перегородок, стопоров) пропорциональна времени от начала разливки;
- масса всплывших в шлак неметаллических включений пропорциональна массе разлитой стали;
- химический состав всплывающих неметаллических включений в процессе разливки стали одной марки не меняется.

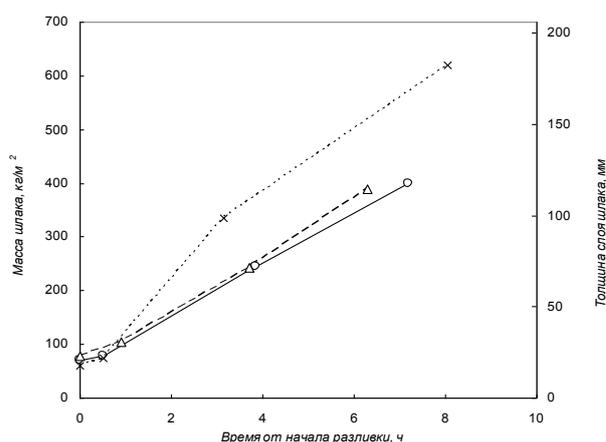


Рис. 1. Изменение массы и толщины слоя шлака в промежуточном ковше в первой (—○—), второй (—Δ—) и третьей (- - × - -) сериях опытов

Как видно из рис. 1, масса шлака в промежуточном ковше в процессе разливки серии плавок многократно возрастает, причем заметно быстрее при использовании промежуточного ковша, имеющего футе-

ровку из магнезиальной торкрет-массы. Средняя скорость растворения футеровки из шамотного кирпича составляет 0,68 кг/ч на 1 м длины шлакового пояса, а футеровки из магнезиальной торкрет-массы в три раза больше – 2,06 кг/ч на 1 м. Скорость перехода в шлак материала разделительных перегородок и стопоров во всех опытах отличалась незначительно и составляла в среднем 0,3 кг/ч на 1 м длины шлакового пояса.

Расчеты показали, что в начале разливки серии опытных плавок происходит проникновение шлака в поры футеровки. Масса шлака, поступившего в шамотную футеровку, невелика – около 1% от его количества. В пористую футеровку из магнезиальной торкрет-массы поступает значительно больше шлака – около 30%. Интенсивное растворение в шлаке футеровки из магнезиальной торкрет-массы подтверждается также результатами определения участия шлакообразующей смеси, огнеупорных материалов и неметаллических включений в формировании конечного шлака (рис. 2).

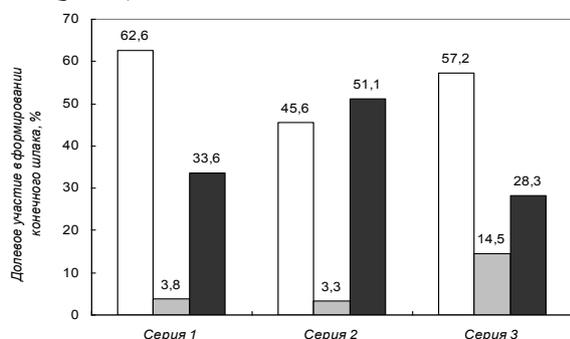


Рис. 2. Участие шлакообразующей смеси (□), огнеупорных материалов промежуточного ковша (■) и неметаллических включений (■) в формировании конечного шлака

Как видно из рис. 2, главную роль в изменении количества и химического состава шлака играет не растворение в нем огнеупорных материалов, а ассимиляция всплывающих неметаллических включений. Особенно много неметаллических включений всплывает в шлак при разливке низколегированной стали (табл. 2).

Приведенные в табл. 2 данные о содержании оксида железа в неметаллических включениях, вероятно, являются несколько заниженными. Основание для такого предположения – практически постоянное содержание этого оксида в пробах шлака, отобранных при проведении всех трех серий опытов. Можно предположить, что содержание оксида железа в шлаке оп-

#### Сведения об авторах

**Дюльдина Эльвира Владимировна** – канд. техн. наук, доц., профессор факультета стандартизации, химии и биотехнологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519)298514. E-mail: dev@magtu.ru.

**Коротин Андрей Викторович** – аспирант факультета стандартизации, химии и биотехнологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519)298514. E-mail: saturn2112@yandex.ru.



ределяется не поступлением его из шлакообразующих материалов, а химическими процессами восстановительного характера, протекающими в шлаковом расплаве. Многочисленные сферические включения металла были обнаружены при изучении микроструктуры затвердевших шлаков промежуточного ковша [2]. Малые размеры включений металла (менее 5 мкм) указывают на их эндогенное происхождение. Восстановителем оксида железа, по-видимому, является углерод, входящий в состав шлакообразующей смеси. Следовательно, присутствие углерода в шлакообразующих смесях обеспечивает низкий окислительный потенциал шлакового расплава и его химическую нейтральность по отношению к разливаемому металлу.

Таблица 2

Масса и химический состав неметаллических включений

Марка стали	Масса всплывших неметаллических включений, % от массы разлитой стали	Содержание, %			
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MnO	FeO
08Ю	0,0095	68,2	4,1	18,9	8,8
17Г1С-У	0,0298	38,5	34,7	26,7	0,1

Таким образом, установлено, что в процессе разливки происходит существенное увеличение массы и изменение химического состава шлака в промежуточном ковше МНЛЗ. Ключевую роль в этом процессе играет поступление в шлак неметаллических включений, всплывающих из разливаемой стали. Расчет показал, что при разливке низкоуглеродистой стали масса всплывших неметаллических включений составляет около 30% от массы конечного шлака, а низколегированной стали – около 50%.

Меньшую роль в изменении химического состава шлака играет растворение огнеупорной футеровки промежуточного ковша. Шамотная футеровка растворяется приблизительно на 5%, а магнезиальная – до 15% от массы конечного шлака.

#### Список литературы

1. Дюльдина Э.В., Селиванов В.Н., Лозовский Е.П. // Расплавы. 2009. №6. С. 3-10.
2. Дюльдина Э.В., Селиванов В.Н., Рыбалко О.Ф. // Труды XIII Российской конференции «Строение и свойства металлических и шлаковых расплавов». Т. 3. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. С. 119-122.

# ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЯ И ПРОИЗВОДСТВО ФЕРРОСПЛАВОВ

УДК 669.162.221.2

Шатохин И.М., Бигеев В.А., Шаймарданов К.Р., Манашев И.Р.

## СВ-СИНТЕЗ СИЛИКОТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ЛЕГИРОВАНИЯ ТИТАНСОДЕРЖАЩИХ СТАЛЕЙ

**Аннотация.** В условиях НТПФ «Эталон» при поддержке МГТУ им. Носова проведены исследования по получению легирующих сплавов на основе силицидов титана. Результаты исследований использованы для создания промышленной технологии получения комплексной силикотитановой лигатуры – ферросилицида титана, предназначенной для эффективного легирования сталей. Проведены промышленные испытания на ОАО «ММК», которые показали более высокое и стабильное усвоение титана из нового материала, чем из ферротитана.

**Ключевые слова:** ферротитан, ферросилицид титана, СВС, титансодержащие стали.

С точки зрения металлургии титан является очень важным элементом. Свободные атомы внедрения, такие как азот и углерод, находясь в междоузлиях кристаллической решетки раствора Fe-C, оказывают вредное влияние на свойства сталей: уменьшается их пластичность, прочность, коррозионная стойкость. Для связывания свободных атомов в соединения и исключения их нежелательного воздействия металлурги активно используют сильные нитридо- и карбидообразующие свойства титана. Кроме того, соединения титана в стали выполняют еще две важные функции: препятствуют росту зерна при нагревании под прокатку и образуют своеобразный прочный каркас, что в целом значительно повышает прочность металла.

Титан имеет высокое сродство не только к азоту и углероду, но и к кислороду, в связи с чем существует немало проблем, связанных с его введением в сталь. Главные из них – высокий угар и нестабильное усвоение. На сегодняшний день основным материалом, используемым для легирования титаном, является ферротитан. В соответствии с ГОСТ 4761-91 различают две разновидности ферротитана, отличающиеся по способу производства и содержанию титана: ферротитан с низким содержанием ( $\leq 40\%$  Ti) производят внепечной или электропечной алюминотермией, а с высоким ( $> 65\%$  Ti) – сплавлением титановых отходов со стальной стружкой. Использование ферротитана предполагает большой расход лигатуры вследствие низкого усвоения титана даже при соблюдении особых мер, таких как хорошее раскисление металла, ввод ферротитана на заключительном этапе плавки, использование порошковой проволоки. По данным [1] и [2], на заводах ОАО «ММК» и Днепропетцсталь усвоение титана из ферротитана составляет в среднем 50%, а по данным [3] в ОАО «ЧМК» усвоение титана – одна из основных проблем при выплавке нержавеющей сталей.

В данной работе исследовался процесс синтеза

комплексных легирующих сплавов на основе силицида титана как перспективного материала для более эффективного легирования сталей титаном. Предполагается, что входящие в состав сплава высокоактивные элементы, такие как кремний, алюминий, кальций и другие, будут защищать титан от окисления при вводе в жидкий стальной расплав. Для получения таких сплавов был применен метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, так как традиционные печные методы не позволяют получать комплексные сплавы с содержанием титана 40-70 % вследствие высокой температуры плавления силицида  $Ti_5Si_3$ . В связи с тем, что для СВ-синтеза необходимым условием является высокая экзотермичность реакции, в работе [4] был проведен термодинамический расчет адиабатической температуры горения титана с кремнием при разбавлении железом от 0 до 90%. Расчет показал, что при концентрации железа до 50% температура остается достаточно высокой ( $> 1700^\circ C$ ), чтобы говорить о возможности использования в качестве исходного сырья порошков ферросплавов для снижения себестоимости продукта. Для подтверждения этих данных в настоящей работе была замерена максимальная температура горения в смеси порошков титана с кремнием при разбавлении порошком железа от 0 до 20%. На рис. 1 представлены зависимости температур горения смеси Ti-Si от количества разбавителя.

Методика эксперимента подробно описана в [6]. Исследовались зависимости скорости и температуры горения от соотношения компонентов, размера частиц титансодержащего материала и плотности упаковки смеси в системах Ti-FeSi и FeTi-Si. На рис. 2 представлена зависимость максимальной температуры горения от размера частиц и соотношения компонентов для системы Ti-FeSi.

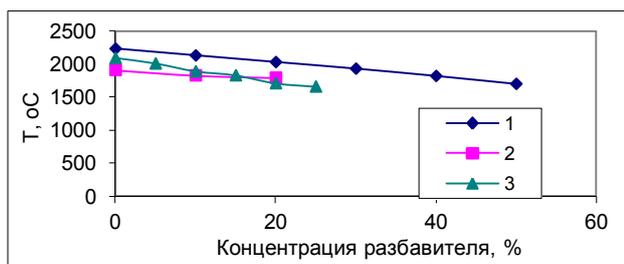


Рис. 1. Зависимость температуры горения от количества разбавителя:

1 – расчет; 2 – эксперимент; 3 – данные работы [5]

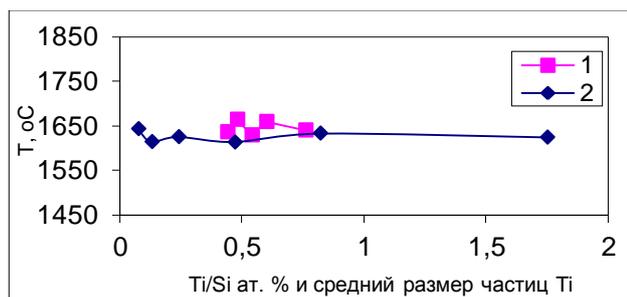


Рис. 2. Зависимость максимальной температуры горения от соотношения компонентов (1) и размера частиц титана (2)

Из рис. 2 видно, что максимальная температура горения слабо зависит от соотношения компонентов и размера частиц титана и находится приблизительно на одном уровне ( $1640 \pm 30^\circ\text{C}$ ). Это, по-видимому, обуславливается жидкофазным механизмом протекания реакции (температура горения, как видно, близка к температуре плавления титана  $1660^\circ\text{C}$ ): при изменении состава исходной шихты и размера частиц титана в исследованных пределах меняется лишь доля жидкой фазы в волне горения, а температура самого расплава остается на одном уровне. На рис.3 представлена сравнительная зависимость скорости горения смесей титан-ферросилиций и ферротитан-кремний от соотношения компонентов.

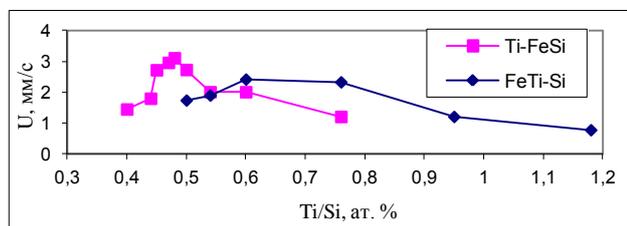


Рис. 3. Зависимость скорости горения от соотношения компонентов для смесей Ti-FeSi, FeTi-Si

Максимальная скорость для первой системы (Ti-FeSi) замерена на составе с 72% Ti, для второй (FeTi-Si) – на составе с 58% Ti. Как видно, в обеих

системах зависимость носит экстремальный характер. Аналогичная зависимость ранее была получена в работе [5] для системы Ti-Si. Однако если для систем Ti-Si и FeTi-Si максимум скорости горения приходится на состав Ti-0,6Si (соответствующий образованию  $\text{Ti}_5\text{Si}_3$  с максимальным тепловым эффектом), то для системы Ti-FeSi этот максимум смещен на состав Ti-0,48Si. Также следует отметить, что для двух систем диапазон горения смещен относительно друг друга: для первой системы – в область больших концентраций титана, для второй – в область больших концентраций кремния.

Рис. 4 иллюстрирует изменение скорости горения при варьировании размера частиц титансодержащего компонента в системах Ti-FeSi и FeTi-Si.

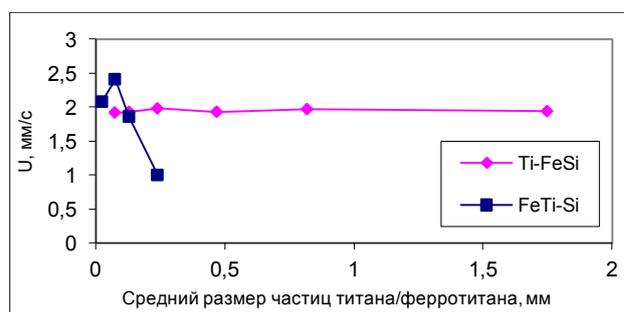


Рис. 4. Зависимость скорости горения смесей Ti-FeSi и FeTi-Si от размера частиц титансодержащего компонента

По графику можно судить о незначительном изменении скорости горения при варьировании размера частиц титана в системе титан-ферросилиций ( $2 \pm 0,5$  мм/с) и экстремальном характере кривой при изменении размера частиц ферротитана в системе ферротитан-кремний (максимум 2,41 мм/с при размере частиц 0,05–0,1 мм). Причем для системы Ti-FeSi, в отличие от системы FeTi-Si, горение возможно при значительно большем размере частиц титансодержащего компонента.

Интересные данные были получены при определении скорости горения в зависимости от плотности исходной смеси титан-ферросилиций. Данные представлены на рис. 5.

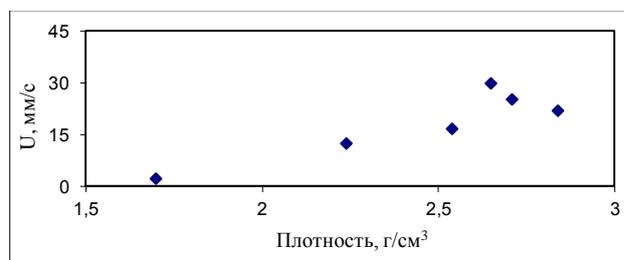


Рис. 5. Зависимость скорости горения от плотности исходной смеси в системе титан-ферросилиций

В связи с улучшением контакта между частицами при увеличении плотности исходной смеси с насыпной (1,5–1,9 г/см<sup>3</sup>) скорость горения резко повышается и достигает максимума в 30 мм/с при плотности 2,64 г/см<sup>3</sup>. При дальнейшем увеличении плотности начинает сказываться значительный теплоотвод из зоны реакции вследствие увеличения теплопроводности, из-за чего скорость горения падает.

Из проведенных исследований можно сделать вывод о том, что горение в исследованных системах реализуемо в широком диапазоне изменения состава исходной смеси, размера частиц порошков и плотности их упаковки. Значения скорости и температуры позволяют говорить о скоротечности процесса и абсолютной его безопасности.

Для промышленных испытаний был выбран наиболее подходящий по свойствам и составу сплав, названный «Ферросилицид титана» (марка ФСТ70 по ТУ 0868-032-21600649-2011). Химический состав сплава в сравнении с химическим составом ферротитана ФТи70С05 представлен в таблице.

Химический состав ферросилицида титана и ферротитана, %

Элемент	Ферросилицид титана ФСТ70	Ферротитан ФТи70С05
Ti	70,1	69,8
Si	0,4	14,3
Al	2,5	9,8
C	0,17	0,12
S	0,019	0,005
P	0,022	0,008
N	0,41	0,10
O	1,36	0,05
H	0,03	0,005

В условиях ОАО «ММК» были проведены опытно-промышленные плавки с ферросилицидом титана в виде наполнителя порошковой проволоки на стали 17Г1С-У, предназначенной для электросварных труб

#### Сведения об авторах

**Шатохин Игорь Михайлович** – директор ООО «НТПФ «Эталон», г. Магнитогорск.

**Бигеев Вахит Абдрашитович** – д-р техн. наук, проф., директор института металлургии, машиностроения и материалов обработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 29-85-59. E-mail: [v.bigeev11@yandex.ru](mailto:v.bigeev11@yandex.ru)

**Шаймарданов Камиль Рамилевич** – инженер-исследователь ООО «НТПФ «Эталон».

**Манашев Ильдар Рауэфович** – канд. техн. наук, инженер-исследователь ООО «НТПФ «Эталон», г. Магнитогорск. Тел.: 8(3519)580157. E-mail: [mirney@yandex.ru](mailto:mirney@yandex.ru).



530–1220 мм. Сталь выплавлялась в 370-тонных кислородных конвертерах с последующей обработкой на установке ковш-печь №2 и дегазацией на установке вакуумирования ВЦ-385. Сталь разливалась на МНЛЗ №6 в слябы 250x2320. Параллельно проводились плавки с традиционно применяемым ферротитаном. По результатам 7 опытных плавок среднее усвоение титана из порошковой проволоки с наполнителем ферросилицид титана составило 73,5% (66,3–76,9%), с наполнителем ферротитан – 45,8% (25,7–63,1%).

#### Список литературы

1. Макаров Д.Н. Совершенствование технологии производства коррозионно-стойких марок стали в ОАО «ЧМК» // Труды XI конгресса сталеплавыльщиков, 3-8 октября 2010 г., Нижний Тагил. М.: АО Черметинформация, 2011. С. 215-218.
2. Камардин В.А., Малиновский Е.И., Мошквич Е.И. Совершенствование технологии легирования титаном нержавеющей стали // Черметинформация. 1965. № 18, сер. № 5. С. 45-50.
3. Тахаутдинов Р.С., Сарычев А.Ф., Николаев О.А., Выплавка и выпечная обработка IF-стали в ККЦ ОАО «ММК» // Совершенствование технологии в ОАО «ММК». 2004. № 8. С. 52-59.
4. Shatokhin I.M., Bigeev V.A., Shaymardanov K.R., Manashev I.R. Investigation of combustion in titanium-ferrosilicon system. Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta im. G.I. Nosova [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, №5, pp. 55-58.
5. Некоторые закономерности горения смесей титана с кремнием / Азатян Т.С., Мальцев В.М., Мержанов А.Г., Селезнев В.А. // Физика горения и взрыва. 1978. № 1.
6. Shaymardanov K.R., Manashev I.R. Self-propagating high-temperature synthesis of ferro silico titanium // Proceedings of the Thirteenth International Ferrous Alloys Congress INFACON XIII, two volumes. Almaty: P. Dipner, 2013, vol. II, pp. 781-786.

УДК 681.5.62.5

Парсункин Б.Н., Петрова О.В., Полухина Е.И.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЖИМА ДСП НА СЕБЕСТОИМОСТЬ ВЫПЛАВЛЯЕМОЙ СТАЛИ

**Аннотация.** В работе рассмотрена упрощенная методика оперативного расчета себестоимости выплавки стали в ДСП с целью оптимизации управления электрическим режимом электроплавки для достижения минимальной величины себестоимости. Показано, что минимальную себестоимость можно обеспечить при условии выделения максимальной мощности в электрической дуге.

**Ключевые слова:** дуговая сталеплавильная печь, себестоимость выплавляемой стали, статические характеристики, электрический режим, мощность, выделяемая в дуге.

В условиях рыночной экономики важное значение имеет величина себестоимости продукции на каждом технологическом переделе металлургического производства. При непрерывном удорожании электрической энергии актуальное значение имеет проблема исследования влияния электрического режима дуговой электросталеплавильной печи (ДСП) на величину себестоимости выплавляемой стали  $\text{Ц}(\tau)$ .

Определение этого важного экономического итогового показателя в процессе каждой текущей электроплавки представляет довольно сложную проблему.

Стоимость выплавки одной тонны стали при использовании только электрической энергии может быть ориентировочно определена в соответствии с выражением [1]

$$\text{Ц} = \Gamma + \Delta W_{\text{печи}} \left[ \frac{B}{G_m \cdot N} \cdot \frac{1}{P_d - P_{\text{пт}}} + \frac{B}{1000} \cdot \left( 1 + \frac{P_{\text{пт}} + P_{\text{эп}}}{P_d - P_{\text{пт}}} \right) \right],$$

где  $\Gamma$  – постоянная составляющая, определяемая в соответствии с выражением:

$$\Gamma = A + \frac{B(T_{\text{раф}} + T_{\text{мп}})}{G_m \cdot N} + \frac{B}{1000} \cdot \omega_{\text{раф}}.$$

Здесь  $A$  – неизменная составляющая стоимости выплавки одной тонны стали, которая включает в себя:

- основную заработную плату технологического персонала;
- стоимость огнеупорных материалов;
- стоимость шлакообразующих, раскисляющих и легирующих добавок и т.д., величина которых растет пропорционально производительности дуговой печи.

$B$  – величина, определяемая суммой постоянных месячных расходов цеха, не связанных с выпуском стали или расходом электрической энергии, разделенная на число печей, установленных в цехе, и включающая расходы:

- на эксплуатацию и ремонт кранового и другого вспомогательного оборудования;

- содержание персонала конторы и подсобных рабочих;
- расходы на амортизацию оборудования;
- расходы на воду;
- оплата услуг вспомогательных цехов, общезаводские накладные расходы и т.п.

$V$  – определяется текущей стоимостью 1000 кВт·ч электрической энергии; расходом электродов, который принимается пропорциональным количеству затраченной на плавку электрической энергии.

$G_m$  – масса плавки,  $N$  – время, затраченное на выплавку стали;  $T_{\text{раф}}$  – время рафинирования стали в технологический период плавки;  $T_{\text{мп}}$  – продолжительность межплавочного простоя печи между очередными плавками;  $P_d$  – активная электрическая (полезная) мощность, выделяемая в электрической дуге;  $P_{\text{эп}}$  – мощность электрических потерь в подводящей сети;  $\Delta W_{\text{печи}}$  – часть тепловой энергии, выделяемая дугами в период расплавления, которая полезно остается в печи и затрачивается на нагрев и расплавление металлической части шихты, нагрев и плавление шлакообразующих и других добавок, разогрев огнеупорной футеровки и т.д. и которую в первом приближении можно определить в соответствии с выражением

$$\Delta W_{\text{печи}} = (P_d - P_{\text{пт}}) \cdot T_p = \omega_c \cdot G_c + \omega_l \cdot G_l + \omega_{\text{ш}} \cdot G_{\text{ш}} + W_{\text{акк}} - W_{\text{хим}} - W_{\text{элд}} + P_{\text{пт}} \cdot \tau_{\text{пр}},$$

где  $T_p$  – время расплавления шихты, когда затрачивается от 70 до 80% количества электроэнергии на плавку;  $\omega_c$ ,  $\omega_l$ ,  $\omega_{\text{ш}}$  – энергия, которая требуется для нагрева от исходной до требуемой температуры одной тонны металла, шлака, ферросплавов и т.п.;  $G_c$ ,  $G_l$ ,  $G_{\text{ш}}$  – масса стали, лома, шлакообразующих в печи;  $W_{\text{акк}}$  – энергия, затраченная за рассматриваемый интервал времени на аккумуляцию тепла в огнеупорной футеровке печи;  $W_{\text{хим}}$  – тепловая энергия экзотермических реакций окисления элементов в процессе плавки;  $W_{\text{элд}}$  – энергия, выделяемая в рабочем пространстве от сгорания электродов;  $\tau_{\text{пр}}$  – время простоя печи за рассматриваемый интервал плавки.

Величина  $\Delta W_{\text{печи}}$  остается практически неизменной в течение всего периода расплавления и составляет ориентировочно 5600 кВт·ч при ступени напряжения 1045 В.

С переходом на более высокую ступень напряжения с увеличением  $P_d(\tau)$  уменьшается время расплавления с одновременным увеличением тепловых потерь. Поэтому при дальнейших ориентировочных расчетах  $\Delta W_{\text{печи}}$  было принято постоянным.

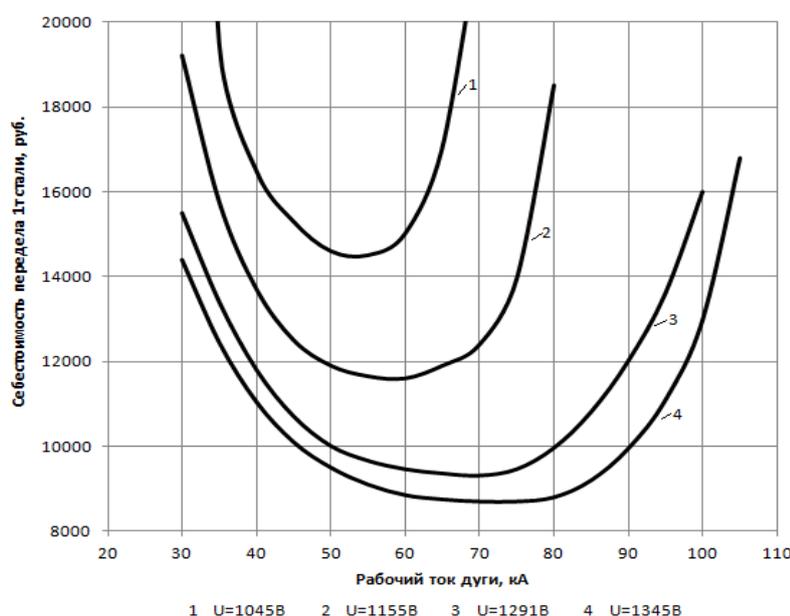
Для расчетов составляющих Б и В были использованы данные из таблицы калькуляции себестоимости одной тонны стали ЭСПЦ ОАО «ММК». Значение этого показателя составило 185650.02 руб. в месяц, или 6200 руб. в сутки.

Для определения величины В произведем расчет. Известно, что в ДСП – 180 ЭСПЦ ОАО «ММК» используются три электрода длиной 6 м, при весе каждого из них 3 т. Одна секция электрода, длина которой составляет 1766 мм, сгорает за 9 плавов в среднем.

Зависимости себестоимости выплавки 1 т стали от рабочего тока дуги, определяемого для различных значений ступеней напряжения печного трансформатора ДСП – 180 при  $x = 3.5$  мОм;  $r = 0.5$  мОм, представлены на рисунке.

По данным калькуляции себестоимости выплавки 1 т стали, полученной в ЭСПЦ ОАО «ММК», себестоимость выплавки 1 т стали составляет 8714 руб. (по технологическому профилю №4, до 40% жидкого чугуна в шихте). Это характеризует достоверность рассматриваемой методики расчета.

Расчетные зависимости  $\Pi = f[I_p]$  имеют унимодальный (одноэкстремальный) вид, следовательно, принципиально возможно использование данного показателя экономической эффективности технологического процесса в качестве корректирующего параметра программно заданного режима энергопотребления, используемого на печах в настоящее время.



Расчетные зависимости себестоимости передела 1 т стали от рабочего тока дуги при различных значениях напряжения печного трансформатора для ДСП-180

Значит, за одну плавку сгорает 196.22 мм весом 0.0981 т. Стоимость 1 т электрода составляет 115000 руб., тогда величина затрат от сгорания электродов за плавку (без учета других расходов) – 11276.32 руб.

При массе стали 160 т за плавку, с учетом остатка металла в печи, затраты на 1 т стали составляет  $11276/160 = 70.48$  руб.

С учетом сгорания трех электродов затраты  $70.48 \cdot 3 = 211,44$  руб./т.

При стоимости электрической энергии 315.45 руб., затрачиваемой на выплавку 1 т стали, общие затраты составляют  $B \approx 211.44 + 315.45 = 526.89$  руб.

Анализ полученных результатов показывает, что минимальное значение переменной составляющей себестоимости, зависящей от параметров электрического режима, в процессе плавки  $\Pi(I_p)_{\min}$  достигается при работе ДСП на повышенных ступенях напряжения и достаточно больших величинах рабочих токов от 55 до 75 кА.

Но главным препятствием использования показателя  $\Pi[I_p]$  является затруднение с его определением в процессе конкретной плавки до ее завершения.

В процессе исследования было установлено, что при постоянной ступени напряжения питания минимальное значение величины себестоимости  $\Pi(I_p)_{\min}$  и максимальное значение производительности ДСП,

определяемое при максимально возможном значении мощности, выделяемой в электрической дуге  $P_d[I_p]_{max}$ , достигаются практически при одних и тех же величинах рабочих токов дуги  $I_p(\tau)$  [2].

В отличие от показателя  $\Psi[I_p(\tau)]$  параметр  $P_d[I_p(\tau)]$  доступен для прямого контроля.

Это обстоятельство является дополнительным и убедительным доказательством приоритетности и целесообразности использования в качестве оптимизируемого параметра при автоматическом оптимальном управлении энергетическим режимом электродуговых печей с целью достижения максимально возможной производительности этих печей величину активной электрической мощности в электрической дуге, в качестве управляющего параметра в этом случае наиболее удобно использовать величину рабочего тока в каждой фазе  $I_p(\tau)$ .

Величина  $I_p(\tau)$  при выбранной ступени напряжения определяется длиной дуги или расстоянием электрода от поверхности металлической шихты или расплава.

Управление электрическим режимом ДСП в ре-

#### Сведения об авторах

**Парсункин Борис Николаевич** – д-р техн. наук, профессор института энергетики и автоматизированных систем ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 29-84-32.

**Петрова Ольга Васильевна** – ст. преп. каф. института экономики и управления ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Полухина Екатерина Ильинична** – студентка 5 курса института экономики и управления ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».



жиме обеспечения максимальной производительности при обеспечении  $P_d[I_p(\tau)]_{max}$  одновременно является самым экономически обоснованным с точки зрения обеспечения минимальной себестоимости выплавляемой в ДСП стали.

Такие режимы управления энергетическими параметрами электродуговой плавки будут способствовать повышению конкурентоспособности готового продукта за счёт энергосберегающего оптимального управления процессом электроплавки.

#### Список литературы

1. Ефроймович Ю.Е. Электрические режимы дуговых сталеплавильных печей. М.: Metallurgizdat, 1956. 131 с.
2. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Логунова О.С. Автоматизация управления выплавкой стали в электродуговых печах: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 304 с.

# ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.742.4

Фирстов А.П.

## ДАЛЬНЕЙШЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ CO<sub>2</sub>-ПРОЦЕССА

**Аннотация.** Соблюдение элементарных правил по культуре производства может привести к достаточно серьезным результатам по качеству литья без каких-либо затрат.

**Ключевые слова:** CO<sub>2</sub>-процесс, жидкое стекло, пригар.

Современные литейные технологические процессы должны обеспечивать получение деталей высокой точности, с большим коэффициентом выхода годного металла. На сегодняшний день получили развитие различные технологические процессы литья. Один из них – литье с применением жидкостекольных смесей, где отверждение идет либо горячей сушкой, либо продувкой форм углекислым газом (CO<sub>2</sub>-процесс).

Актуальность внедрения жидкостекольных смесей обусловлена тем, что жидкое стекло относится к числу дешевых, недефицитных и экологически чистых материалов.

Наряду с преимуществами, жидкостекольные смеси имеют плохую выбиваемость, высокую пригораемость, относительно невысокую живучесть, повышенную гигроскопичность и плохо регенерируются.

Вопросам улучшения выбиваемости, пригораемости и регенерации жидкостекольных смесей посвящены многочисленные исследования ученых Ф. Нильда, Д. Эпштейна, Ю.П. Васина, И.Е. Илларионова, З.Я. Иткиса и многих других [1–7]. Известны различные способы отверждения жидкостекольных смесей: смеси, отверждаемые тепловой сушкой и отверждаемые углекислым газом. Повышенные трудо- и энергозатраты при изготовлении смесей, недостаточная производительность процессов тепловой сушки и возможная потеря размерной точности заставляют предпочесть процесс отверждения жидкостекольных смесей продувкой углекислым газом.

Использование формовочных и стержневых смесей на жидком стекле, твердеющих при продувке CO<sub>2</sub>, позволяет сократить время на изготовление отливок и повысить качество их поверхности, обеспечить получение отливок с достаточно высокой размерной точностью, увеличить производительность труда, автоматизировать технологические процессы смесеприготовления и изготовления литейных форм и стержней.

Однако при наличии положительных черт CO<sub>2</sub>-процесса присутствует существенный недостаток этого процесса – это возможность «передува» смеси, который и приводит к возникновению большинства из перечисленных выше недостатков [8–12].

В Нижнетагильском технологическом институте (филиал) Уральского федерального университета (НТИ(ф) УрФУ) ведутся работы по снижению пригара на фасонных изделиях и по улучшению выбиваемости

жидкостекольных смесей. На основании многочисленных экспериментальных данных установлено, что образование пригарной пленки и затрудненная выбиваемость связаны с протеканием в смеси сложных физико-химических процессов при высоких температурах.

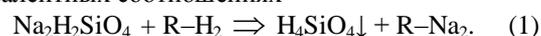
Анализ прочностных характеристик смесей на жидком стекле при высоких температурах, имитирующих ход процессов происходящих при заливке жидкостекольной смеси расплавом металла, показал, что наименьшая прочность стержней наблюдается в интервале двух областей. Это 500–800°C и выше 1000°C, где соответственно образцы показали максимальную прочность до 200 и 1000°C. Полученные данные хорошо согласуются с работами Ф. Нильда [1], Ж. Дюкло [13] и Л. Петрджеллы [14].

Однако объяснения наличия пригара, возникновения трещин, получения невысокой живучести смеси у авторов различные: Ф. Нильд объясняет происходящие изменения параметрами исходного жидкого стекла, продуваемого углекислым газом и влагосодержанием системы; Ж. Дюкло – переходом диоксида кремния при высоких температурах в полиморфные модификации SiO<sub>2</sub>, имеющие различные коэффициенты линейного термического расширения; Л. Петрджелла – высоким содержанием жидкого стекла в смесях, расходом углекислого газа.

По поводу расхода углекислого газа, необходимого для отверждения жидкостекольной смеси, нельзя не согласиться с Л. Петрджеллой. О «передув» смеси говорят и другие авторы [8,11,15], которые сходятся по этому вопросу в одном, что расход углекислого газа должен быть соразмерен объему продуваемой смеси, и его «передув» нежелательно сказывается на качестве литья.

Попробую высказать свою точку зрения на процессы, протекающие в жидкостекольной смеси продуваемой углекислым газом.

Реакция щелочного дигидроортоосиликата натрия (Na<sub>2</sub>H<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) с кислотами является реакцией обменного типа, идущей «до конца», т.к. продуктом реакции является нерастворимое вещество – ортокремниевая кислота (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>, растворимость равна 7·10<sup>-4</sup> моль/л). В эквивалентных соотношениях



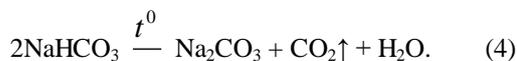
При  $\text{CO}_2$ -процессе уравнение реакции принимает следующий вид:

$\text{Na}_2\text{H}_2\text{SiO}_4 + \text{H}_2\text{CO}_3 \Rightarrow \text{H}_4\text{SiO}_4\downarrow + \text{Na}_2\text{CO}_3$ , (2)  
избыток  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , или «передув», углекислого газа приводит к образованию, в случае с кислотами слабой силы, гидрокарбоната натрия:

$\text{Na}_2\text{H}_2\text{SiO}_4 + 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{H}_4\text{SiO}_4\downarrow + 2\text{NaHCO}_3$ . (3)

По своим физическим свойствам карбонат и гидрокарбонат существенно различаются. Так, температура кипения  $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 852^\circ\text{C}$ , температура плавления  $1600^\circ\text{C}$ , растворимость 21,8 г/100 мл при  $20^\circ\text{C}$ , а температура кипения  $\text{NaHCO}_3 = 270^\circ\text{C}$ , температура плавления  $851^\circ\text{C}$ , растворимость 9,59 г/100 мл при  $20^\circ\text{C}$  [16].

При повышенных температурах возможно не только кипение, но и разложение получаемых продуктов. При температуре  $60\text{--}200^\circ\text{C}$  гидрокарбоната натрия переходит в карбонат натрия



При дальнейшем нагревании до  $1000^\circ\text{C}$  полученный карбонат натрия распадается на углекислый газ и оксид натрия



Теперь видно, что снижение прочности в интервале  $500\text{--}800^\circ\text{C}$  зависит от наличия в сфере реакции  $\text{NaHCO}_3$ , а дальнейшее повышение температуры усугубится ещё и разложением  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , что приведет ко второму интервалу понижения прочности, т.е. выше  $1000^\circ\text{C}$ . Разложение гидрокарбоната натрия приведет к появлению низкоплавких соединений на границе расплава с формой с образованием «плавней». Неоднородность системы – к напряжениям в зоне контакта частицы наполнителя со связующим, что вызовет возникновение внутренних напряжений в смеси с дальнейшим образованием трещин.

Таким образом, наличие образующегося  $\text{CO}_2$  и паров воды будет являться причиной возникновения трещин и «плавней».

Доказательством правильно выбранного направления при решении данной проблемы являются производственные испытания. Испытания проводились на отливке «блок верхний подъемный». На левой фотографии (см. рисунок, а) показана отливка, полученная по производственной технологии, с наличием пригара на поверхности отливки, а на правой фотографии (см. рисунок, б) – отливка без пригара, полученная с рассчитанным количеством  $\text{CO}_2$ , предотвращающим возникновение кислой соли в наружных слоях жидкостекольной смеси. На производство выданы рекомендации по изменению технологии, касающиеся явного «передува» формы. Работа не закончена и требует дальнейших производственных испытаний по отработке режимов и параметров технологического процесса.



а б  
Фотографии отливки «блок верхний подъемный»  
(обозначения в тексте)

Из вышесказанного следует, что для устранения пригара и сохранения прочностных характеристик жидкостекольной смеси необходимо не допустить образования гидрокарбоната натрия, получающегося при избытке  $\text{CO}_2$ , в сферу протекания реакции. Отсутствие кислой соли сильно затруднит или вовсе исключит недостатки при использовании  $\text{CO}_2$ -процесса.

#### Список литературы

1. Нильд Ф., Эпштейн Д. Применение жидкого стекла в качестве связующего материала формовочных смесей // Труды 24 Международного конгресса литейщиков. М.: Машгиз, 1960. С. 246-260.
2. Васин Ю.П., Васина З.М. Формовочные материалы и смеси / ЧПИ. Челябинск, 1983. 83 с.
3. Жуковский С.С., Лясс А.М. Формы и стержни из холоднотвердеющих смесей. М.: Машиностроение, 1978. 224 с.
4. Васин Ю.П., Иткис З.Я. Окислительные смеси в конвейерном производстве стального литья. Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во, 1973. 156 с.
5. Лясс А.М. Быстротвердеющие формовочные смеси. М.: Машиностроение, 1965. 332 с.
6. Илларионов И.Е., Васин Ю.П. Формовочные материалы и смеси. Ч. I-II / Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова. АНЧР. Чебоксары, 1995. 281 с.
7. Рыжков И.В. Вспучивание жидкого стекла и его влияние на формирование прочности смесей // Сб. трудов ХПИ. 1974. № 90. 26 с.
8. Илларионов И.Е., Петрова Н.В. Жидкостекольные смеси, отверждаемые продувкой углекислым газом // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. 2005. № 2(87). С. 208-213.
9. Маслов К.А. Разработка и освоение методов повышения технологичности стержней из жидкостекольных смесей для стального и чугуна литья: автореф. дис. ... канд. тех. наук / К. А. Маслов. Нижний Новгород, 2010. 22 с.
10. Лясс А.М., Валисовский И.В. Пути улучшения выживаемости жидкостекольных смесей // Сб. трудов ЦНИИТМАШ. 1960. №3.81 с.
11. Кукуй Д.М. Теория и технология литейного производства формовочные материалы и смеси. Искусственная сушка горных пород: учеб. пособие / Д.М. Кукуй, Н.В. Андрианов. Мн.: БНТУ, 2005. 361 с.
12. Технология конструкционных материалов: учебник для машиностроительных специальностей вузов / А.М. Дальский, И.А. Арутюнова, Т.М. Барсукова и др.;

- под общ. ред. А.М. Дальского. М.: Машиностроение, 1985. С.132-133.
13. Дюкло Ж. Коллоиды / пер. А. Михалевича; под ред. и с предисл. В. Кирбатова. Л.: Госхимиздат, 1924. 184 с.
14. Петрджелла Л. К теории химического твердения формовочных смесей (процесс  $\text{CO}_2$ ) // Труды 24 Международного конгресса литейщиков. М.: Машгиз, 1960. С. 261-275.
15. Жуковский С.С. Холоднотвердеющие связующие и смеси для литейных стержней и форм: справочник. М.: Машиностроение, 2010. 256 с.
16. Химические свойства неорганических веществ: учеб. пособие для вузов / Р.А. Лидин, В.А. Молочко, Л.Л. Андреева; под ред. Р.А. Лидина. 3-е изд., испр. М.: Химия, 2000. 480 с.

### Сведения об авторе

**Фирстов Александр Петрович** – канд. техн. наук, доц. кафедры «Автоматизация и технология литейного производства», Нижнетагильский технологический институт (филиал) Уральского федерального университета. Тел.: (3435)32-53-39. E-mail: first55@mail.ru.



УДК 621.74:669.2

Груздева И.А., Брусницын С.В., Сулицин А.В., Мысик Р.К., Ожгихин И.В.

## ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК НА МИКРОСТРУКТУРУ И КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВА СИСТЕМЫ Cu-Ni-Zn

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследования по влиянию добавок олова и алюминия на микроструктуру сплава марки МНЦ 15-20 и качество поверхности отливок.

**Ключевые слова:** нейзильбер, литейная форма, микроструктура, качество поверхности.

Как известно, сплавы тройной системы медь-никель-цинк отличаются высокой коррозионной стойкостью, имеют привлекательный серебристый цвет, не окисляются на воздухе и достаточно устойчивы в растворах солей и органических кислот. В связи с этим данные сплавы широко применяются для производства деталей приборов точной механики, лабораторной посуды, медицинского инструмента [1], а также художественных изделий, таких как памятные монеты и медали, филигранные изделия и в качестве основы для финифти. Потребность в получении ажурных и тонкостенных художественных изделий из сплавов системы Cu-Ni-Zn не только методами пластической деформации, но и литьем по выплавляемым моделям вызвала необходимость изучения литейных свойств сплавов этой системы. В работе [2] было изучено влияние алюминия и олова на заполняемость литейной формы в условиях литья по выплавляемым моделям по методике, предложенной в работе [3]. В ходе исследования было установлено, что олово и алюминий увеличивают заполняемость литейной формы и позволяют получать тонкостенные отливки без недоливов, неслитин и других дефектов.

В настоящей работе изучено влияние добавок алюминия в количестве 0,4 мас. % и олова в количестве 4,0 мас.% на микроструктуру сплава марки МНЦ 15–20 и качество поверхности литых заготовок.

Плавка и заливка расплава осуществлялась на индукционной установке INDUTHERM-MUVV700.

Прокалка литейной формы производилась до температуры  $T=620^\circ\text{C}$ . Температура литейной формы перед заливкой составляла  $560^\circ\text{C}$ , температура заливки –  $1150^\circ\text{C}$ . Для сравнения заливался контрольный образец без ввода добавок. Внешний вид полученных в ходе эксперимента образцов представлен на рис. 1.

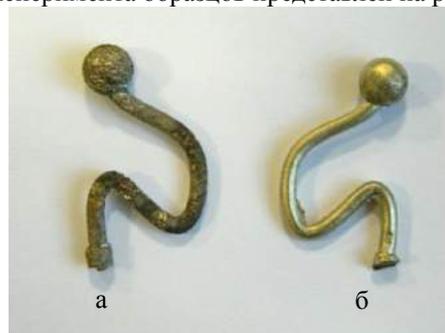


Рис. 1. Внешний вид образцов из сплава марки МНЦ 15-20: а – без добавок; б – с добавлением 0,4 мас. % алюминия и 4,0 мас. % олова

Анализ полученных образцов показал, что введение добавок алюминия и олова в сплав марки МНЦ 15–20 позволяет значительно улучшить качество поверхности образцов. На поверхности образца из сплава без добавок (рис. 1, а) наблюдается большое количество газовых пор и неровностей, что можно объяснить интенсивным испарением цинка при высокой

температуре и образованием на поверхности потока расплава оксидной пленки ZnO. Поверхность образца из сплава с добавлением алюминия и олова (рис. 1, б) чистая и гладкая. Это можно объяснить образованием на поверхности расплава защитной пленки из оксида алюминия, препятствующей испарению цинка [4].

В связи с тем, что для изготовления финифти желательнее использовать основу, имеющую мелко-

зернистую структуру, в работе было изучено влияние добавок алюминия и олова на микроструктуру медно-никель-цинкового сплава. Анализ микроструктуры (рис. 2) показал, что размер микрозерна сплава марки МНЦ 15–20 без добавок составляет 220–260 мкм (рис. 2, а), размер микрозерна образца с добавлением олова и алюминия (рис. 2, б) – 75–100 мкм.

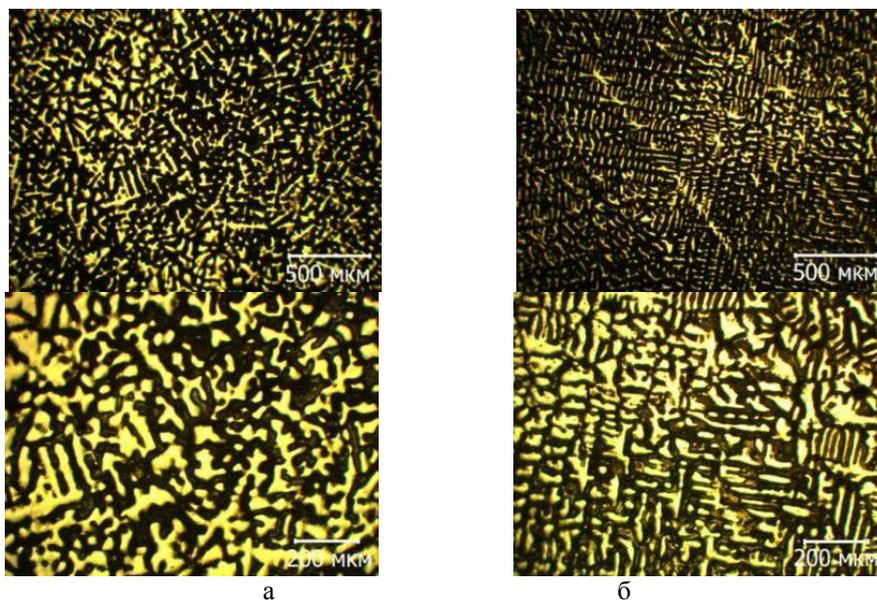


Рис. 2. Микроструктура образцов из сплава на основе Cu-Ni-Zn: а – без добавок; б – с добавлением 0,4 мас. % алюминия и 4 мас. % олова

Таким образом, введение в сплав марки МНЦ 15–20 алюминия и олова позволяет в 2–3 раза уменьшить размер микрозерна и значительно улучшить качество поверхности отливок, которое является очень важным для художественных изделий.

### Список литературы

1. Мальцев М.В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1970. 167 с.
2. Зибзеева Т.О., Груздева И.А., Герасимов С.С. Изучение заполняемости литейной формы сплавом тройной системы Cu-Ni-Zn, легированным оловом и алюминием в

условиях литья по выплавляемым моделям // Труды III научно-практической конференции «Наука и образование в области технической эстетики дизайна и технология художественной обработки материалов». СПб.: Изд-во СПГУТД, 2013. С. 95-97.

3. Груздева И.А., Сулицин А.В., Герасимов С.С. Изучение заполняемости литейной формы сплавом марки МНЦ 15-20 при литье по выплавляемым моделям // Труды одиннадцатого съезда литейщиков России. Нижний Тагил: Изд-во УВЗ, 2013. С. 344-347.
4. Осинцев О.Е., Федоров В.Н. Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубежные марки: справочник. М.: Машиностроение, 2004. 336 с.

### Сведения об авторах

**Груздева Ирина Александровна** – канд. техн. наук, доц ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург.

**Брусницын Сергей Викторович** – д-р техн. наук, ст. науч. сотрудник, проф. ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург. E-mail: kafedralp@mail.ru.

**Сулицин Андрей Владимирович** – канд. техн. наук, доц. ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург.

**Мысик Раиса Константиновна** – д-р техн. наук, проф. ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург.

**Ожгихин Илья Владимирович** – аспирант ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург.



УДК 621.74.019

Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А., Хабибуллин Ш.М.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПРОИЗВОДСТВА БРОНЕЙ ИЗ СТАЛИ МАРКИ 110Г13Л В УСЛОВИЯХ ООО «РЕМОНТНО–МЕХАНИЧЕСКИЙ ЗАВОД»

**Аннотация.** В статье рассмотрен вопрос практического использования литых броней из стали марки 110Г13Л в мельнице МПСИ – 70×23. Изучено влияние скрытых литых дефектов на эксплуатационную стойкость броней. Описаны результаты производства броней в условиях литейного цеха по одной из предложенных технологий, а также представлен чертёж скорректированной технологии с использованием легкоотделяемой прибыли.

**Ключевые слова:** эксплуатационная стойкость, броня, литые дефекты, марганцовистая сталь, усадочная раковина.

Технология производства отливки вносит значительный вклад в долговечность и надёжность литых деталей в процессе эксплуатации в различных агрегатах. Проблема повышения эксплуатационной стойкости броней в мельнице МПСИ – 70×23 особенно актуальна для Хайбуллинской обогатительной фабрики.

Довольно часто на бронях, отслуживших свой срок эксплуатации и достигших определённой степени изнашивания, можно обнаружить скрытые дефекты, образовавшиеся в процессе производства отливок (рис. 1). Наличие подобного рода дефектов свидетельствует о том, что технология производства литых броней требует совершенствования.

Технологический процесс, применяющийся для производства броней, наглядно иллюстрирован на рис. 2.



Рис. 1. Скрытые литые дефекты в отливке «Броня торцевая»: усадочная раковина, усадочная пористость

Недостаток существующей технологии – скрытые усадочные раковины, которые являются причинами снижения эксплуатационной стойкости представленных броней.

После проведения компьютерного моделирования было предложено несколько технологических процессов производства литых броней для мельницы МПСИ – 70×23.

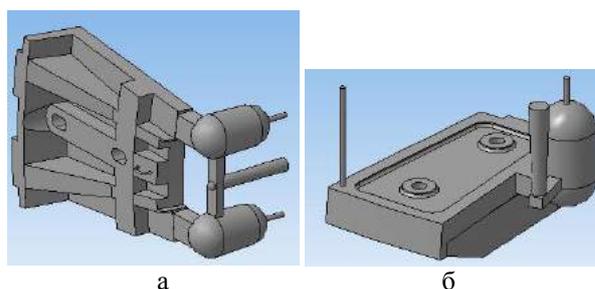


Рис. 2. Трёхмерные модели с литниково-питающей системой:  
а – «Броня торцевая 128»; б – «Броня торцевая 129»

Первый вариант технологического процесса, реализованный в условиях ООО «Ремонтно-механический завод» (ООО «РМЗ»), г. Сибай, представлен на рис. 3.

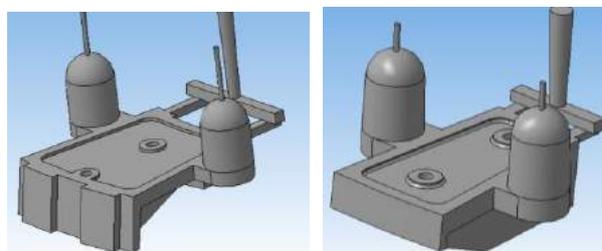


Рис. 3. Первый вариант расположения литниково-питающей системы на отливках «Броня торцевая 128» и «Броня торцевая 129»

После выбивки отливок из формы их порезали с целью выявления скрытых литых дефектов. «Броня торцевая 128» порезали на 12 частей, а «Броня торцевая 129» – на 3 части.

Проведя топографические исследования фрагментов разрезанных броней, установили, что внутри «Броня торцевая 128» с одной стороны присутствуют скрытые литые дефекты в виде усадочных раковин (рис. 4).



УДК 621.74

Долгополова Л.Б., Скурихин А.В., Шаповалов А.Н.

**АНАЛИЗ БРАКА ЛИТЫХ ЧУГУННЫХ ВАЛКОВ (часть 1)**

**Аннотация.** Проанализированы основные виды брака, образующегося при литье валков мелкосортных станов. Предложены мероприятия по снижению брака валков мелкосортных станов.

**Ключевые слова:** прокатный валок, брак, технологический процесс, металл, мелкосортный стан.

Технологический процесс изготовления прокатных валков является одним из самых сложных в литейном производстве. Современное прокатное производство предъявляет высокие требования к качеству прокатных валков, которые обусловлены разработкой новых материалов и профилей. Технология литья валков постоянно совершенствуется, что ведет к уменьшению брака, но не к полному его устранению. Это связано со сложностью и многофакторностью технологического процесса изготовления прокатных валков.

На российских заводах используется около 50 типов прокатных валков, причем каждый тип имеет свои определенные особенности. Все валки должны обладать высокой износостойкостью, противостоять перепадам температуры, обеспечивая при этом хороший захват металла и качество профиля.

Для получения качественных отливок цех по производству валков оснащен всем высококачественным оборудованием: плавильными агрегатами - индукционными печами производства фирмы «ABB» (Германия) средней частоты IFM, стендами для подготовки и сушки ковшей, центробежными машинами типа МЦГО, термическими печами фирмы «Bosio» (Словения), а также выбивным и смесеприготовительным оборудованием. Формовка валков готовится по металлическим моделям. Уплотнение форм производится пневматической трамбовкой. Уплотнённые формы покрываются противопопригарным покрытием и просушиваются в термических печах, затем производится сборка и заливка валков. После достижения определённой температуры формы разбираются, валки поступают на участок обрубки и далее отправляются в механический цех для дальнейшей обработки.

Несмотря на достаточно высокую техническую оснащенность цеха и жесткие нормы технического и технологического контроля на всех этапах производства, часть валков имеет те или иные отклонения от технических условий. Все дефекты валков принято подразделять на исправимые и неисправимые. В зависимости от вида дефектов, степени их развития и трудоемкости исправления принимается решение о технологии исправления брака либо отнесении продукции к окончательному браку.

Согласно ГОСТ 19200-80 дефекты отливок из чугуна и стали подразделяют на пять основных групп (50 разновидностей):

- несоответствие по геометрии (14 видов): недоллив, неслитина, обжим, подутость, перекос, стержне-

вой перекос, разностенность, стержневой залив, коробление, незалив, зарез, вылом, прорыв металла, уход металла;

- дефекты поверхности (13 видов): пригар, спай, ужимина, нарост, залив, засор, плена, просечка, окисление, поверхностное повреждение, скаладочность, грубая поверхность, газовая шероховатость;

- несплошности в теле отливки (16 видов): горячая трещина, холодная трещина, газовая раковина, ситовидная раковина, усадочная раковина, песчаная раковина, шлаковая раковина, залитый шлак, графитовая пористость, усадочная пористость, газовая пористость, рыхлота, непровар жеребеек, вскип, утяжина;

- включения (3 вида): металлическое включение, неметаллическое включение, королёк;

- несоответствие по структуре (4 вида): отбел, половинчатость, ликвация, флокены.

Все пять групп дефектов характерны для прокатных валков, но многие виды не встречаются при производстве данной номенклатуры, поэтому на заводах, производящих валки, как правило, принимается своя классификация дефектов.

Произведен анализ брака отливок мелкосортных сортопрокатных валков. Распределение видов брака при производстве мелкосортных сортопрокатных валков показано на диаграмме (рис.1).

Из данных рис. 1 следует, что основными причинами брака отливок чугунных валков являются несоответствие твердости, горячие трещины, раковины и засоры.

Более 35% валков было отбраковано из-за их низкой или высокой твердости, которая определяется структурой отливки.

Причинами брака валков из-за их низкой твердости являются:

- высокая температура собранной формы;
- избыточное вторичное модифицирование;
- некачественная подготовка металла (большое количество графита в рабочем слое);
- некачественное ведение плавки (избыточное науглероживание расплава);
- несоответствие химического состава.

Брак валков из-за их высокой твердости вызывают:

- низкая температура собранной формы;
- быстрое охлаждение валка;
- недостаточное модифицирование металла;
- несоответствие химического состава.

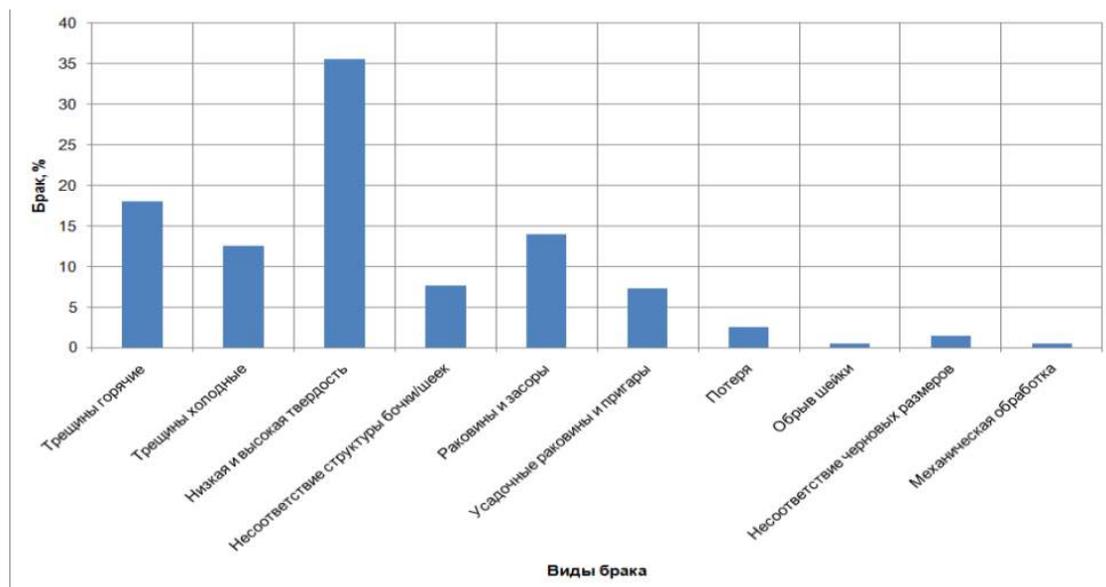


Рис. 1. Распределение видов брака мелкосортных сортопрокатных валков

Таким образом, для предупреждения брака валков из-за низкой и высокой твердости необходимо строго соблюдать технологические инструкции на заданное исполнение валков.

Получение высокой твердости отливок приводит к разрушению валков после разборки, в процессе термической обработки или механической обработки (рис.2). Термическую обработку при исправлении валков применяют во всех случаях, когда необходимо изменить твердость валка, а также для снятия внутренних напряжений и в отдельных случаях - для изменения структуры металла.



Рис. 2. Разрушение валка после разборки в связи с высокой твердостью

Проведенный анализ показал, что до 18 % всех бракованных отливок были забракованы по дефектам «Трещины горячие». Горячие трещины образуются вследствие неравномерного затвердевания валка, а также при повышенном содержании серы в чугуне образуются горячие трещины с окисленной поверхностью бурого или черного цвета. Часто разрывы проходят по границам зерен и можно увидеть

следы дендритов. Могут возникать как продольные, так и поперечные трещины.

Продольные горячие трещины возникают чаще всего на бочках валков, отдельные части которых затвердевают в различных условиях кристаллизации. Кристаллизация рабочего слоя валка начинается практически с начала заливки. Для образования трещины достаточно лёгкого сотрясения, чтобы застывшая чугунная оболочка в процессе заливки или непосредственно после неё дала трещину, иногда во всю длину бочки валка (рис. 3).



Рис. 3. Продольные горячие трещины на валке

Горячие трещины могут вызвать:

- повышенное содержание в чугуне элементов, увеличивающих доперлитную усадку;
- повышенное содержание в чугуне марганца, фосфора;
- царапины и трещины на внутренней поверхности кокиля, неравномерная покраска внутренней поверхности кокиля противопопригарным покрытием;
- неровный край заделки со стороны галтели, несоблюдение литейных радиусов галтели;
- образование заливов в местах разъёма формы

приводит к надрыву тонкого залива из-за напряжений, возникших вследствие его неравномерного охлаждения с остальной частью отливки;

- недолив формы валка основным металлом;
- плохое крепление стояка, впоследствии его вибрация при заливке, передающаяся на форму валка, и, как следствие, надрыв тонкой «корки» металла во время кристаллизации.

Для устранения дефекта «горячая трещина» следует обратить внимание на:

- применение компонентов шихты, способствующих уменьшению усадки и повышению прочности металла при высоких температурах;
- своевременный ремонт кокилей;
- устранение сетки разгара, царпин посредством переточки кокилей;
- зачистка внутренней поверхности кокилей от ржавчины перед покраской;
- качественная покраска внутренней поверхности кокиля;
- своевременное питание валков через прибыль;
- соблюдение литейных уклонов и качественная формовка заделки;
- не допускать образование заливов между элементами формы;
- качественное крепление стояка к стенкам кессона и к форме с помощью распорок.

Продольные горячие трещины с края бочки валков (рис.4) образуются из-за наличия заливов на торце бочки, а также из-за чрезмерно утолщенного слоя нанесенной краски на поверхность кокиля. Такой слой краски в момент заливки выделяет большое количество газов. Эти газы при заполнении формы жидким металлом вырываются в виде «хлопков» и увлекают за собой краску с отдельных участков кокиля. На границе обнаженных участков кокиля создается неравномерный теплоотвод, в результате чего в этом месте возникают трещины.

Для исключения такого вида дефекта необходимо следить, чтобы при формовке и сборке тщательно отделялся стык опоки нижней шейки, не допускать увеличения толщины слоя краски; следить за качеством кокиля, не допускать его повреждения.



Рис.4. Продольная горячая трещина с края бочки валка

13 % бракованных отливок вышли из строя из-за наличия в них раковин и засоров, которые, как правило, обнаруживаются при механической обработке (рис. 5, 6), причем раковины могут быть как на поверхности бочки, на торце, так и на шейке. Раковины могут быть газовые и шлаковые. Причин возникновения раковин и засоров очень много. Все их можно разделить на несколько групп: некачественный металл, влажная формовочная смесь, некачественная оснастка, нарушение технологии заливки (низкая температура металла, заливка прерывающееся струей, неправильная конструкция литниковой системы и др.).



Рис.5. Газовые раковины на торце бочки валка



Рис.6. Песчаная раковина на торце валка

В зависимости от количества, размера и местонахождения песчаные раковины могут быть исправным или неисправимым дефектом. Исправить дефект можно, если раковины находятся на поверхности валка и глубина их залегания не превышает припуск на механическую обработку, их можно заварить, если заварка не ухудшит качество валка.

Таким образом, проведенный анализ позволил установить основные браковочные показатели при производстве литых чугунных валков и определить причины их возникновения.

#### Список литературы

1. Великжанина О.Н., Долгополов А.М., Долгополова Л.Б. Анализ брака отливок // Литейные процессы: межрегион. сб. науч. тр./ под ред. В.М.Колокольцева. Магнитогорск. Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. Вып.10.
2. Производство и эксплуатация сортопрокатных валков / И.Х. Тухватулин, А.А. Гулаков, В.И. Юрков, Л.Б. Долгополова // Литейные процессы: межрегион. сб. науч.

- тр./ под ред. В.М.Колокольцева. Магнитогорск. ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. Вып.7. С.65-69.
- Управление структурой валкового чугуна с использованием нейронных сетей / Р.Х. Гималетдинов, И.Х. Тухватулин, Л.Б. Долгополова, Ю.П. Ланкин // Литейные процессы: межрегион. сб. науч. тр./ под ред. В.М.Колокольцева. Магнитогорск: МГТУ, 2005. Вып.5. С.148-151.
  - Применение искусственных нейронных сетей для обработки и оптимизации технологических параметров изготовления чугунных прокатных валков / И.Х. Тухватулин, Л.Б. Долгополова, В.Г. Баталов, А.Л. Хилова // Литейные процессы: межрегион. сб. науч. тр./ под ред. В.М.Колокольцева. Магнитогорск: МГТУ, 2004. Вып.4. С.172-174.
  - Математическое моделирование процессов плавления и кристаллизации чугуна в кокиле при формировании двухслойных валков для прокатных станов / В.А. Мещерин, С.И. Кадченко, А.И. Кадченко, В.М. Колокольцев, Л.Б. Долгополова // Литейные процессы: межрегион. сб. науч. тр./ под ред. В.М.Колокольцева. Магнитогорск: МГТУ, 2002. Вып.2. С.208-216.

### Сведения об авторах

**Долгополова Любовь Борисовна** – канд. техн. наук, доц. института металлургии, машиностроения и материалобработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 29-84-30.

**Скурихин Александр Владимирович** – старший мастер плавильного участка отливки крупносортовых и среднесортных валков и оснастки ЗАО «Кушвинский завод прокатных валков», вальцелитейный цех.

**Шаповалов Алексей Николаевич** – канд. техн. наук, доц. Новотроицкого филиала НИТУ «МИСиС». E-mail: alshapo@yandex.ru.



УДК 621.74.045

Миляев А.Ф., Никитин Ю.П., Кадников С.В., Тимофеев В.А., Матвеев А.Н.

## ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВАГРАНОЧНОГО ЧУГУНА НА СТОЙКОСТЬ ИЗЛОЖНИЦ

**Аннотация.** Стойкость изложниц слабо положительно зависит от содержания углерода, отрицательно от содержания хрома и фосфора. Практически не влияют на стойкость изменения содержания кремния, марганца и серы. Не отмечено влияние изменения углеродного эквивалента и эвтектичности на стойкость изложниц. Химический состав чугуна, выплавленного в вагранке, лишь на 13,5% определяет стойкость изложниц.

**Ключевые слова:** ваграночный чугун, химический состав, стойкость изложниц.

Повышение стойкости сменного оборудования положительно сказывается на эффективности производства. На металлургическом заводе «Красный Октябрь» такой проблемой является стойкость изложниц.

Изложницы изготавливают в собственном литейном цехе из ваграночного чугуна. По результатам работы литейного цеха за декабрь 2012 по май 2013 года была собрана статистика по технологии производства и стойкости изложниц.

На заводе используются изложницы трех типов – 6,36, 6,12 и 5,62 т. Последние два типа изложниц производятся в незначительном количестве – 3,4 и 11% соответственно.

Стойкость изложниц показывает, что наиболее конструктивно отработанной является изложница 6,36 как имеющая существенно большую стойкость – 50 наливов по сравнению с изложницами 6,12 и 5,62 т, которые имеют примерно одинаковую стойкость – чуть более 42 наливов. Изложницы 6,36 т используют для разлива стали как в ЭСПЦ 1, так и в ЭСПЦ 2. В процессе эксплуатации некоторые изложницы подвергаются ремонту, что увеличивает их стойкость.

В таблицах «Excel» был проанализирован массив отлитых изложниц по месяцам начиная с декабря 2012 года по май 2013 года, эксплуатируемых в ЭСПЦ-2.

Сводные данные по стойкости и химическому составу чугуна изложниц и температуре заливки представлены в табл. 1.

Таблица 1  
Параметры изложниц, отлитых по месяцам и эксплуатируемых в ЭСПЦ-2

Месяц	Число изложниц		Стойкость, нал.		
	Общее	Ремонт	без ремонта	с ремонтом	средняя
Декабрь	13	4	43,33	7,5	45,8
Январь	70	10	47,46	7,8	49,08
Февраль	71	14	49,11	11	52,2
Март	51	9	46,98	6,22	47,96
Апрель	26	9	46,72	4,9	48,3
Май	9	3	41,33	3,67	42,55
Итого	240	49	47,37	7,27	48,99

Таблица 2  
Изменение химического состава ваграночного чугуна по месяцам

Месяц	Химический состав, %						Температура заливки, °С
	C	Si	P	S	Cr	Mn	
Декабрь	3,66	1,77	0,088	0,089	0,032	0,81	1205,2
Январь	3,63	1,67	0,069	0,064	0,035	0,52	1201
Февраль	3,60	1,70	0,074	0,065	0,027	0,52	1202,7
Март	3,57	1,76	0,074	0,067	0,032	0,69	1202,6
Апрель	3,57	1,72	0,075	0,068	0,030	0,57	1196
Май	3,6	1,72	0,082	0,067	0,036	0,52	1189
Итого	3,61	1,71	0,074	0,067	0,032	0,58	1201,1

Из табл. 2 видно, что химический состав чугуна по месяцам практически одинаков, но стойкость изложниц заметно отличается, что связано, в первую очередь, с условиями их эксплуатации.

Был проведен анализ влияния содержания химических элементов чугуна на стойкость изложниц. Общеизвестно, что важнейшими элементами, определяющими структуру и свойства серого чугуна, являются углерод и кремний. Эти элементы влияют на положение чугуна по отношению к эвтектике, поэтому анализировали также влияние углеродного эквивалента (Сэ) и эвтектичности чугуна (Sэ).

Влияние содержания химических элементов на стойкость изложниц 6,36 т представлено на рис. 1.

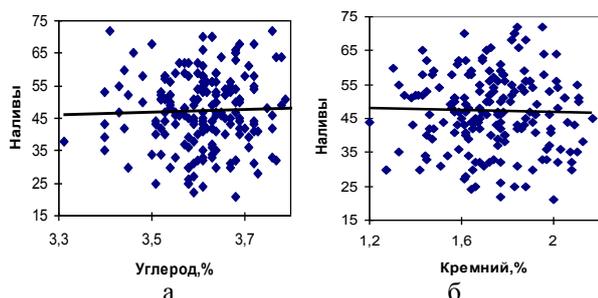


Рис. 1. Влияние содержания углерода (а) и кремния (б) в чугуне на стойкость изложниц

Как видно из рис.1,а, изменение содержания углерода в пределах 0,5% не оказывает заметного влияния на стойкость изложниц. На это указывает очень низкий коэффициент ковариации, хотя общий тренд положительный, т.е. стойкость растет с ростом содержания углерода в чугуне. Аналогично влияние содержания кремния в чугуне, хотя содержание кремния колеблется еще значительно – более 1%. Общий тренд линии регрессии при этом носит неявно выраженный отрицательный характер.

Связь стойкости изложниц с показателями углеродного эквивалента (рис. 2, а) и эвтектичности (рис. 2, б) еще более слабая, чем с углеродом и кремнием\*.

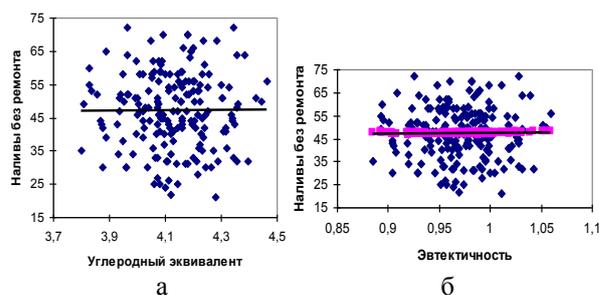


Рис. 2. Влияние углеродного эквивалента (а) и эвтектичности чугуна (б) на стойкость изложниц

Отмечено отрицательное влияние повышения содержания хрома на стойкость изложниц, хотя в анализируемых пределах изменения содержания хрома оно практически не сказывается на изменении стойкости (рис.3,а). Изменение содержания марганца в значительных пределах не влияет на стойкость изложниц (рис. 3,б).

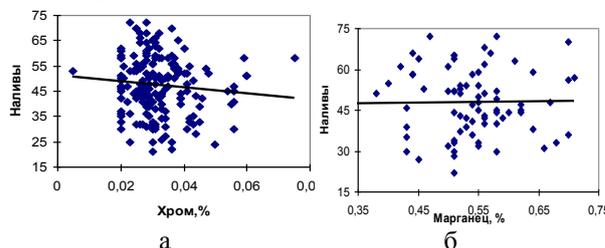


Рис. 3. Влияние содержания хрома (а) и марганца (б) в чугуне на стойкость изложниц

Еще менее слабое влияние на стойкость оказывает содержание фосфора (рис.4,а) и серы (рис.4,б).

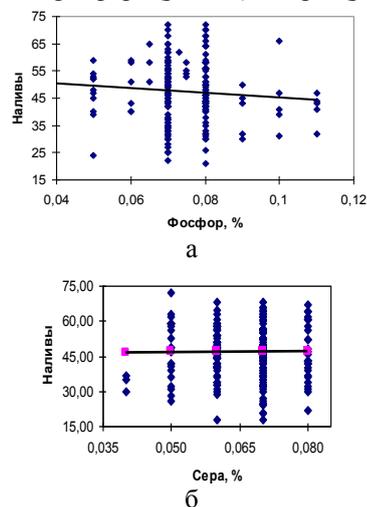


Рис. 4. Влияние содержания фосфора (а) и серы (б) в чугуне на стойкость изложниц

Уравнение множественной регрессии влияния химических элементов на стойкость изложниц 6,36 т имеет вид

$$St = 33,042 + 8,7 C - 3,46 Si - 77,45 P - 134,182 Cr, R^2 = 0,135.$$

\* Гиршович Н.Г. Справочник по чугунному литью Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1978. 758 с.

Коэффициент ковариации этого уравнения показывает, что химический состав чугуна лишь на 13,5% определяет стойкость изложниц и не является определяющим в стойкости изложниц.

Температура заливки при ее увеличении слабо сказывается на стойкости изложниц (рис. 5).

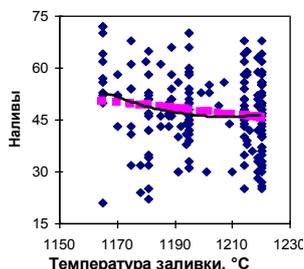


Рис. 5. Влияние температуры заливки чугуна на стойкость изложниц

#### Сведения об авторах

**Миляев Александр Федорович** – канд. техн. наук, проф. института металлургии, машиностроения и материалобработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: (3519) 29-85-30. E-mail: profmiljaev@gmail.com.

**Никитин Юрий Петрович** – ООО «Новые технологии-ИЦ». Тел.: +7(3519) 58-60-90. E-mail: mail@novtexn.ru.

**Кадников Сергей Владимирович** – гл. инженер ООО «Новые технологии-ИЦ». Тел.: 7(3519) 58-60-90. E-mail: mail@novtexn.ru.

**Тимофеев Владимир Андреевич** – гл. сталеплавыльщик ЗАО «Волгоградский металлургический завод «Красный Октябрь»». E-mail: v\_timofeev@vmkko.ru.

**Матвеев Анатолий Николаевич** – ведущий инженер отдела технологии сталеплавленного производства ЗАО «Волгоградский металлургический завод «Красный Октябрь»».



УДК 621.74

Гавариев Р.В., Савин И.А., Леушин И.О.

## К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРЕСС-ФОРМ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ НАНЕСЕНИЕМ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

**Аннотация.** Исследуется проблема повышения эксплуатационной стойкости пресс-форм для литья под давлением с помощью нанесения твердых покрытий методом КИБ. Описывается эксперимент по определению конкретных количественных и качественных характеристик твердых покрытий в зависимости от их состава.

**Ключевые слова:** пресс-форма, литье под давлением, многофункциональные покрытия, метод КИБ.

Существует множество способов и методов улучшения эксплуатационных характеристик поверхностного слоя [1], однако наибольший интерес представляют методы физического (ФОП) и химического осаждения (ХОП). В сравнении с ними остальные методы физического и механического упрочнения или химико-термической обработки с меньшей эффективностью решают проблему повышения эксплуатационной стойкости изделий. Твердым покрытиям, полученным методами ХОП и ФОП, присуще хорошая адгезия с материалом пресс-формы. Однако для области литья под давлением весьма перспективным

выглядит использование метода ФОП, а в частности метод конденсации вещества в вакууме с ионной бомбардировкой (метод КИБ), по нескольким причинам. Одна из них – сравнительно низкая температура конденсации (200–800°C), тогда как в методе ХОП рабочая температура процесса составляет 1000°C. Помимо этого методом КИБ возможно нанесение многослойных покрытий с использованием различных химических элементов. Существует огромное количество видов покрытий, таких как нитрид титана (TiN), карбонитрид титана (TiCN), нитрид молибдена (MoN), нитрид титана и молибдена (Ti,Mo)N, нитрид

титана и железа (Ti,Fe)N, нитрид титана и алюминия (Ti,Al)N и другие. Помимо указанных покрытий, возможно их использование в различных комбинациях. Несмотря на огромную номенклатуру, для литья под давлением цинковых сплавов практически нет рекомендаций по выбору конкретного вида твердого покрытия.

Одним из главных преимуществ защитных покрытий является повышение способности материала сопротивляться образованию и росту трещин, увеличивая период работы пресс-формы до появления первичных трещин на формообразующих поверхностях. Увеличение данного параметра зависит главным образом от состава покрытия. Наилучшими эксплуатационными показателями среди твердых покрытий, нанесенных методом КИБ, обладают многослойные покрытия [2]. Это объясняется тем, что в многослойных покрытиях сочетаются плюсы сразу нескольких однослойных покрытий. Чередование множества тонких слоев покрытий обеспечивает замедление роста трещин, образующихся как в покрытии, так и в материале пресс-формы. Все это в сумме дает повышенную микротвердость, низкий коэффициент трения, малый коэффициент отслоения покрытия от металла пресс-формы, малую теплопроводность и т.д. При этом схема для всех многослойных покрытий будет примерно одинакова. Нижний слой обеспечивает сцепление с материалом пресс-формы, верхний слой взаимодействует с заливаемым сплавом, то есть, изменяя его состав, возможно управление характеристиками процесса литья, а также средний слой, служащий преградой для роста трещин, возникающих как в материале пресс-формы, так и в покрытии. Также возможно использование дополнительных слоев для улучшения адгезии между слоями.

Многослойные покрытия могут состоять как из одного материала, слои которого будут отличаться в зависимости от параметров нанесения покрытия, так и из разных. При этом наиболее перспективным выглядит использование различных составов для определенных слоев покрытия. При этом не существует определенной методики по выбору составов покрытий, а также по их количественным и качественным характеристикам.

Учитывая условия процесса литья под давлением [3], можно сказать, что покрытия должны удовлетворять следующим требованиям:

- выдерживать прерывистые, циклически повторяющиеся температурные воздействия, вызывающие появление трещин,
- препятствовать появлению трещин как в материале пресс-формы, так и в самом покрытии,
- препятствовать росту образовавшихся трещин,
- обладать низким коэффициентом трения для уменьшения износа поверхностного слоя, взаимодей-

ствующего с расплавленным металлом.

Однако для определения конструкции многослойного покрытия, удовлетворяющего вышеуказанным требованиям, необходимо иметь полную информацию по работе каждого покрытия по-отдельности. Наиболее высокими показателями среди однослойных обладают многокомпонентные покрытия, так как в этом случае имеется возможность варьирования материалов с целью получения определенных свойств взаимодействующих слоев покрытие – материал пресс-формы. Также важным моментом является то, что по сравнению с простыми двухкомпонентными соединениями возможно получение аномально высоких эксплуатационных показателей. Однако при использовании сложных составов имеется проблема невозможности получения комплекса необходимых свойств, самым частым случаем является невозможность получения покрытия с высоким показателем сцепления с материалом пресс-формы при высоком значении твердости. Стоит отметить, что большинство рабочих параметров покрытий определяют экспериментально, поэтому составление наиболее оптимальной конструкции твердого многослойного покрытия возможно только после проведения сравнительного эксперимента, целью которого является выявления сильных и слабых сторон наиболее распространенных однослойных покрытий.

Составы однослойных покрытий выбирались из соображений микротвердости и максимальных значений адгезии между взаимодействующими слоями материал пресс-формы – покрытие. Исследовались следующие составы покрытий: TiN, TiCN, MoN, (Ti,Mo)N, а также, в качестве сравнения, изготовленная по традиционной технологии поверхность с азотированным слоем толщиной  $h=0,08-0,12$  мм. Нанесение покрытий осуществлялось на установке «Булат-6». Производилась сравнительная оценка скорости появления и роста трещин на формообразующих поверхностях пресс-форм для литья под давлением цинковых сплавов. Согласно работам [4, 5] известно, что разрушение формообразующих поверхностей начинается с появления напряжений как на поверхности, так и в глубине материала пресс-формы, при этом причины их возникновения могут быть совершенно различны. Это могут быть напряжения, возникшие на стадии изготовления пресс-формы, также могут влиять тепловые и силовые факторы, действующие в период приработки. Далее, под воздействием циклических термодинамических нагрузок, менее чем за тысячу циклов, напряжения преобразуются в первые трещины на формообразующих поверхностях. Поэтому одним из требований для покрытия является отсрочка момента появления первых трещин. Так, для покрытия TiN период до появления первых трещин увеличивается в 2,2 раза по сравнению с азотированным слоем, для MoN – в 2,3 раза, для TiCN – в 2,4 раза, для (Ti,Mo)N – 2,6 раз (рис. 1).

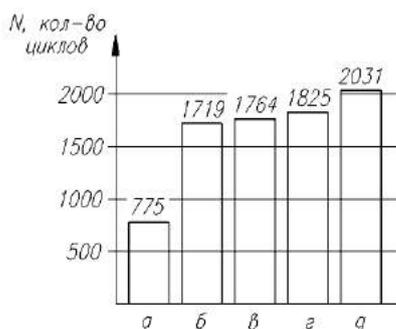


Рис.1. Количество циклов работы пресс-формы до появления первых трещин в зависимости от покрытия: а – азотированная поверхность; б – TiN; в – MoN; г – TiCN; д – (Ti,Mo)N

Таким образом, можно сделать вывод, что все покрытия по сравнению с азотированным слоем увеличивают период работы пресс-формы до появления первых трещин более чем в 2 раза, при этом покрытия сложного состава дают наибольшую трещиностойкость.

По мере работы пресс-формы отдельные трещины образуют сетку трещин, приводящих к разрушению как покрытия, так и материала пресс-формы. При этом происходит увеличение размеров трещин как в длину, так и ширину. Период работы пресс-формы с момента появления первых трещин до превышения ими критических размеров является самым длительным и для литья цинковых сплавов под давлением может составлять до 97%. При этом преобладает усталостный износ, при котором в процессе циклических нагрузок мелкие трещины объединяются, что приводит к отделению мелких слоев металла. Учитывая это, дополнительной задачей является определение такого состава покрытия, на которое минимально будет влиять наличие трещин в материале пресс-формы. Количество циклов до полного разрушения у покрытий различно и зависит от конструкции (рис.2).

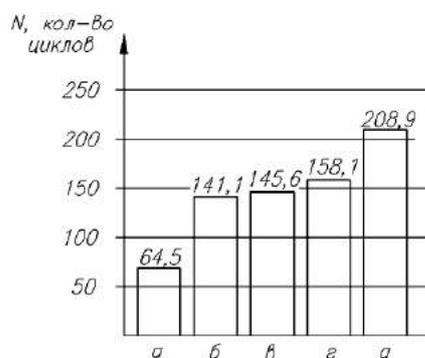


Рис.2. Количество циклов работы пресс-формы с момента появления первых трещин до начала разрушения покрытия: а – азотированная поверхность; б – TiN; в – MoN; г – TiCN; д – (Ti,Mo)N

Если проанализировать периоды стойкости покрытий (см. рис. 1,2), то можно сказать, что чем сложнее покрытие, тем большее количество циклов оно выдерживает до момента начала разрушения. Это можно объяснить их более высоким уровнем остаточных сжимающих напряжений.

При всем вышесказанном толщина защитного покрытия практически не влияет на динамику роста трещин в материале пресс-формы, но критична для трещин в покрытии. Толщина покрытий определяется в диапазоне от 3 до 10 мкм и зависит от нескольких факторов. При определении толщины покрытия существуют два противоречивых момента. Минимальные значения обеспечивают наилучшую сцепляемость с материалом пресс-формы. В свою очередь, максимальная толщина дает наибольшую износостойкость. Тем не менее, по результатам исследований процесса литья под давлением цинковых сплавов удалось определить оптимальные значения для конкретных составов покрытий по значениям износа на формообразующей поверхности (рис. 3).

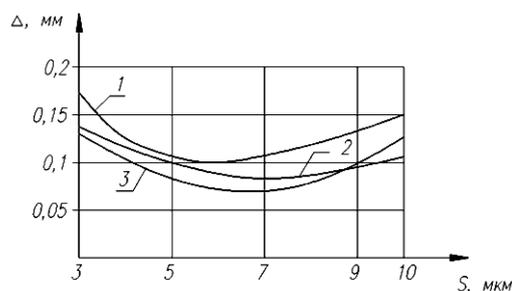


Рис.3. Зависимость величины износа от толщины покрытия: 1 – TiN, MoN; 2 – TiCN; 3 – (Ti, Mo)N

Для простых однослойных покрытий типа TiN, MoN оптимальной толщиной является 5–6 мкм, для покрытий TiCN, (Ti, Mo)N и (Ti, Al)N – 6,5–8 мкм. Таким образом, толстые покрытия обладают большей износостойкостью, при этом наилучшие показатели соответствуют покрытиям со сложными составами. Так, износостойкость покрытия (Ti, Mo)N в 1,3 раза больше, чем у TiN.

Исходя из данных проведенных экспериментов, можно сказать, что покрытия, нанесенные методом КИБ, значительно увеличивают эксплуатационную стойкость формообразующих поверхностей в сравнении с азотированием. При этом по параметрам трещиностойкости и износостойкости многокомпонентные однослойные покрытия в сравнении с простыми показывают более лучшие результаты по общему сроку службы пресс-формы до критического износа. Из исследуемых покрытий наиболее выгодным с точки зрения соотношения затрат на получение слоя и собственно срока службы пресс-формы выглядит покрытие состава (Ti, Mo)N.

## Список литературы

1. Савин И.А. Формирование базы данных вариантов материала режущей части инструмента и метода его поверхностного упрочнения // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2012. №3. С. 97-105
2. Табаков В.П., Смирнов М.Ю., Циркин А.В. Работоспособность торцовых фрез с многослойными износостойкими покрытиями. Ульяновск: УлГТУ, 2005. 152 с.
3. Гавариев Р.В., Леушин И.О., Савин И.А. Проблема прогнозирования эксплуатационного ресурса пресс-форм литья под давлением цинковых сплавов и некоторые пути ее разрешения // Справочник. Инженерный журнал (с приложением). М., 2013. № 6.
4. Березин Д.Т. Повышение эксплуатационной стойкости пресс-форм литья под давлением на основе анализа теплонпряженного состояния и моделирования процессов термоусталостного разрушения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Рыбинск, 2002. 28 с.
5. Денисов В.Ю. Взаимодействие сплавов алюминия с материалами пресс-форм и повышение их стойкости функциональными покрытиями: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Тюмень, 2005. 16 с.

## Сведения об авторах

**Леушин Игорь Олегович** – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Литейно-металлургические процессы и сплавы» ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева». E-mail: igoleu@mail.ru

**Савин Игорь Алексеевич** – канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой КТМП НЧФ КГТУ им. А.Н. Туполева.

**Гавариев Ренат Вильсорович** – ассистент кафедры КТМП НЧФ КГТУ им. А.Н. Туполева. E-mail: Gavarijev@mail.ru



УДК 621.74.045:621.742.001.57

Савинов А.С., Тубольцева А.С.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В КРИСТАЛЛИЗУЮЩЕМСЯ СЛОЕ СТЕНКИ ОТЛИВКИ

**Аннотация.** Описаны причины усадки литой детали при затвердевании и охлаждении ее в форме.

**Ключевые слова:** усадка, отливка, деформация растяжения.

Одним из наиболее характерных факторов, сопутствующих формированию отливок, следует считать процесс усадки литой детали при затвердевании и охлаждении ее в форме. Металл, залитый в форму с более низкой температурой, уменьшается в объеме (усаживается). Причиной зависимости действительной усадки от номинального размера кроме деформации формы при заливке может быть неравномерность усадки по длине (рис. 1), обнаруженная при проведении экспериментов, выполненных инженером М.Ю.Ершовым [1].



Рис. 1. Изменение усадки по длине образца

Установлено, что в основе описанного явления лежат особенности теплового расширения высушенной корки литейной формы [2].

Такое поведение сухой корки относится к периоду времени, когда залитый в форму металл

находится в жидком состоянии и следует за расширяющейся формой. Размеры отливки в рассматриваемом продольном направлении увеличиваются, т.е. формируется преобладающее расширение.

Затем образуется твердая корка отливки, которая плотно прилегает к форме. Сухая корка формы продолжает расширяться, а твердая корка отливки должна сокращаться (усаживаться). Между отливкой и формой возникают силы трения. В первые моменты после образования твердая корка имеет малую толщину и прочностные свойства и поэтому растягивается более прочной расширяющейся сухой коркой формы. Деформация растяжения неодинакова по всей длине отливки. Если бы сухая корка формы не расширялась, то твердая корка отливки, не имея возможности сокращаться из-за сил трения, претерпела бы деформацию растяжения, равную усадке. Именно такая обстановка складывается за пределами концевых участков, где расширение сухой корки полностью затруднено. Концевые же участки сухой корки расширяются, поэтому деформация растяжения отливки на этих участках превысит усадку. Это означает, что преобладающее расширение продолжает нарастать и после обра-

зования твердой корки [2]. Рассмотрим напряженное состояние в формирующейся корке отливки.

*Напряженно-деформированное состояние формирующейся корки отливки при затрудненной усадке*

Рассмотрим напряженное состояние нарастающей корки отливки в условиях затрудненной усадки (рис. 2) при свободном перемещении материала отливки вдоль поверхности формы (при отсутствии пригара). При расчете учли, что температура корки отливки в процессе ее роста, вследствие выделения теплоты кристаллизации, весьма близка к температуре конца кристаллизации, а следовательно, температурные напряжения в формирующейся корочке материала можно не учитывать. При этом, как показано выше, вследствие значительного перепада температур на граничных слоях литейной формы тепловое расширение этих слоев может быть значительным, и в общем случае его абсолютное максимальное значение  $\Delta l_{\text{формы}}$  может быть выражено формулой

$$\Delta l_{\text{формы}} = \alpha_{\phi} \Delta T_{\phi}^{\text{max}} l, \quad (1)$$

где  $\alpha_{\phi}$  – коэффициент термического расширения слоя литейной формы;

$\Delta T_{\phi}^{\text{max}}$  – максимальный температурный градиент между начальной температурой формы перед заливкой и конечной наибольшей температурой;

$l$  – длина деформируемой зоны между элементами затруднения.

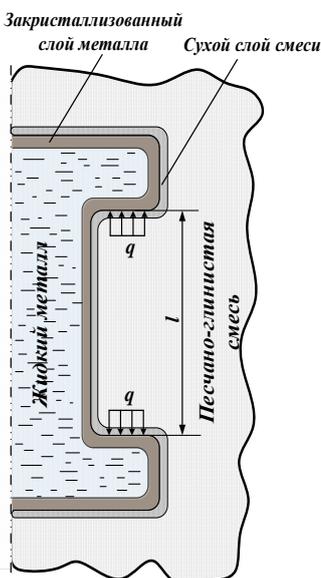


Рис. 2. Схема к расчету напряженного состояния нарастающей корки отливки при затрудненной усадке

Зная температурный перепад [3, 4], можно определить абсолютное удлинение

$$\varepsilon_{\text{формы}} = \frac{\Delta l_{\text{формы}}}{l} = \alpha_{\phi} \Delta T_{\phi}^{\text{max}}. \quad (2)$$

Так как слой формы между элементами не позволяет свободно усаживаться корочке металла, то относительное растяжение стенки отливки будет равно величине  $\varepsilon_{\text{формы}}$  формы.

Откуда при известной зависимости напряжений от деформации и температуры и химического состава материала [5, 6] можно определить максимальные значения растягивающих деформаций.

$$\sigma_{\text{крыш}}^{\text{max}} = f(\varepsilon_{\text{формы}}; T; \%) = f(\alpha_{\phi} \Delta T_{\phi}^{\text{max}}; T; \%). \quad (3)$$

*Напряженно-деформированное состояние формирующейся корки отливки при свободной усадке*

При отсутствии элементов затруднения на возникающие в корке отливки напряжения будут значительным образом влиять силы трения материала о поверхность формы. Рассмотрим условия возникновения максимальных напряжений в формирующейся корке отливки, вызванных усилием трения при свободной усадке стенки отливки.

Как известно, усилие трения  $F_{\text{тр}}$  определяется как реакция опоры  $R_{\phi}$  (формы), домноженная на коэффициент трения  $\mu$  между материалом отливки и стенкой формы

$$F_{\text{тр}} = \mu R_{\phi}. \quad (4)$$

На основании III закона Ньютона реакция опоры в рассматриваемом случае будет выражена величиной гидростатического давления

$$R_{\text{он}} = \rho gh, \quad (5)$$

где  $\rho$  – плотность жидкого металла;  
 $g$  – ускорение свободного падения;  
 $h$  – высота отливки.

Эпюра распределения реакции показана на рис. 3.

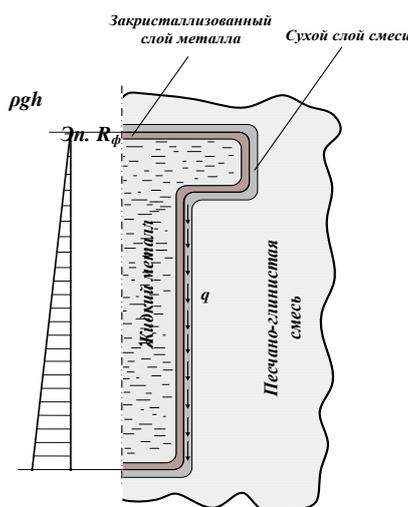


Рис. 3. Схема к расчету напряженного состояния нарастающей корки отливки при свободной усадке

Учитывая, что величина усилия трения не зависит от площади контакта (см. выражение (3)), при расчете усилия трения требуется брать полную высоту отливки (т.е. максимальное значение высоты  $h$ ).

Эпюра распределения реакции показана на рис. 3. При образовании корки отливки в условиях отсутствия пригара напряжение в стенке отливки будет расти до момента преодоления растягивающим усилием силы трения [7], т.е. до момента выполнения условия

$$F_{расч} \geq F_{тр}.$$

Зная зависимость деформации от растяжения и рассматривая данную систему как центральнорастянутую балку с защемленным концом, максимальные растягивающие напряжения корки могут быть найдены как

$$\sigma_{трени\max} = \frac{F_{расч}}{A_k}, \quad (6)$$

где  $A_k$  – площадь закристаллизованной корки металла.

Учитывая, что максимальные напряжения в корке отливки будут формироваться в момент преодоления усилия трения, т.е. при  $F_{расч} = F_{тр}$ , рассчитаем возникшие напряжения.

$$\sigma_{трени\max} = \frac{\mu \rho g h}{A_k}. \quad (7)$$

Следует учесть, что максимальное усилие трения может быть меньше усилия растяжения, вызванного температурной деформацией слоя формы. То есть при условии  $F_{расч} < F_{тр}$  возникает возможность сдвига материала отливки по поверхности формы, а следовательно, выражение (7) позволяет вычислить возможные максимальные напряжения от усилия трения при свободной усадке, а из равенства выражений (3), (6) возможно определить температурный градиент, обеспечивающий сдвиг.

$$\frac{\mu \rho g h}{A_k} = f(\alpha_\phi \Delta T_\phi^{\max}; T; \% ). \quad (8)$$

С другой стороны, при условии низкого температурного градиента (подогрев формы, невысокая температура плавления материала) либо небольшого коэффициента теплового расширения усилие трения может быть значительно выше усилия растяжения

$F_{расч} < F_{тр}$ . В этом случае максимальные напряжения, возникающие в корке металла, будут определяться по выражению (3). Таким образом, процесс напряжений в растущей корке металла может быть выражен следующей системой:

$$\begin{cases} \sigma = f(\alpha_\phi \Delta T_\phi^{\max}; T; \% ) \\ \sigma = \frac{\mu \rho g h}{A_k} \end{cases} \begin{cases} F_{расч} < F_{тр} \\ F_{расч} \geq F_{тр} \end{cases} \quad (9)$$

Следует отметить, что усилие трения может меняться от динамики усадочного процесса стенки отливки [7]. Однако при равномерном движении значения напряжений будут изменяться только в сторону уменьшения в связи с ростом закристаллизованного слоя стенки, а следовательно, полученные по выражению (7) напряжения кристаллизующейся корки будут максимальными при рассмотрении свободноусаживающегося элемента отливки.

### Список литературы

1. Константинов Л.С., Трухов А.П. Напряжения деформации и трещины в отливках. М.: Машиностроение, 1981. 199 с.
2. Константинов Л.С., Трухов А.П., Ершов М.Ю. О механизме предусадочного расширения отливок // Технологии автомобилестроения: науч.-техн. сборник / НИИНАвтопром. 1978. №10. С.1-3.
3. Савинов А.С., Андреев С.М., Тубольцева А.С. Программа расчета тепловых полей в литейных системах // Литейщик России. 2013. №3. С. 39- 42.
4. Савинов А.С., Тубольцева А.С., Варламова Д.В. Расчет теплового поля сырой песчано-глинистой формы // Черные металлы. 2011. Спец. выпуск. С. 36-38.
5. Савинов А.С. Определение сопротивления деформации стали в различных температурных условиях при ее упругом деформировании // Казанская наука. 2011. №2. С. 43-45.
6. Савинов А.С., Тубольцева А.С. Расчет напряжений в углеродистых сталях при высоких температурах // Современные технологии в машиностроении: сб. XV Международ. науч.-техн. конференции. Пенза: Приволжский дом знаний, 2011. С. 38-40.
7. Степанов Ю.А. Роль трения отливки о форму при образовании горячих трещин // Изв. вузов. Машиностроение. № 4. С. 86-94.

### Сведения об авторах

**Савинов Александр Сергеевич** – канд. техн. наук, зав каф. ТМиСМ института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Тубольцева Алёна Сергеевна** – ст. преп. института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».



УДК 621.74

Гавариев Р.В., Савин И.А., Леушин И.О.

## К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ПРЕСС-ФОРМ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ ЦИНКОВЫХ СПЛАВОВ

**Аннотация.** Рассмотрены способы повышения стойкости пресс-форм, причины возникновения напряжений I, II и III родов. Экспериментально определено, какой род напряжений в большей степени влияет на зарождение и рост трещин разгара.

**Ключевые слова:** стойкость пресс-форм, напряжения, трещины, рост трещин, дефекты.

Одним из возможных способов повышения эффективности процесса литья под давлением является увеличение эксплуатационной стойкости пресс-форм. Повысить стойкость оснастки возможно за счет оптимальной конструкции пресс-формы для конкретной детали, улучшения технологии литья, а также за счет использования материалов с определенными, заранее заданными свойствами [1]. Однако, прежде всего, необходимо иметь полную информацию по дефектам, возникающим на формообразующих деталях.

Наибольший процент вышедших из строя пресс-форм вызван появлением и развитием трещин разгара. Так, в условиях отдельных производств данное значение может достигать до 50%, что является недопустимым с экономической точки зрения. Однако решение проблемы трещин разгара невозможно без определения механизма их возникновения и развития.

Любая из пресс-форм, даже находясь в ненагруженном состоянии, испытывает влияние напряжений, вызванных различными факторами. Первыми по очередности возникновения являются напряжения, образованные при механическом изготовлении деталей пресс-форм. Помимо остаточных напряжений, на пресс-форму во время работы постоянно действуют напряжения, вызванные силовыми и температурными воздействиями, и если влияние остаточных напряжений можно уменьшить или исключить введением дополнительной операции термической обработки, то силовых и температурных напряжений избежать невозможно. В конечном итоге именно они и вызывают разрушение формообразующих поверхностей пресс-форм.

Общепринятой классификацией напряжений является разделение их на: напряжения I, II и III родов [2]. Напряжения I рода возникают под действием сил, вызванных формовкой отливки. Влияние данных напряжений зонально согласно геометрическим участкам формообразующих поверхностей. Касательно литья под давлением цинковых сплавов можно сказать, что благодаря низкой температуре плавления рабочего сплава период образования и роста напряжений I рода значительно увеличен, по сравнению, например, с алюминиевыми сплавами. Тем не менее, пренебрегать значениями данных напряжений нельзя,

так как если учесть достаточно продолжительный минимальный срок службы пресс-форм для литья цинковых сплавов согласно ГОСТ 19946-74, то напряжения могут весьма пагубно сказаться на продолжительности работы пресс-формы. Тем более, при наличии значительно выступающих участков напряжений I рода могут привести к необратимой деформации деталей пресс-формы.

Напряжения II рода образуются в результате фазовых превращений, различных включений и анизотропии свойств, т.е. если соседние зерна металла формообразующих вкладышей имеют различную ориентацию или же на их границе имеется инородное включение, то все это вызывает разность напряжений и, как следствие, пластическую деформацию. Влияние данных напряжений можно рассматривать в рамках одного или нескольких зерен металла. Данный род напряжений подходит для зарождения трещин II типа, образующихся внутри металла пресс-формы.

Напряжения III рода являются субмикроскопическими, то есть их влияние распространяется на атомы. Именно данные напряжения, вызванные внедрением или же отсутствием атомов на границе атомной решетки зарождают трещины, которые, в конечном счете, разрастаются в различные сетки и петли разгара.

Таким образом, учитывая разную природу возникновения и различные участки воздействия на формообразующих деталях, невозможно однозначно определить какой род напряжений в большей степени влияет на зарождение и рост трещин разгара. Прояснить данную картину возможно лишь экспериментальными данными.

Эксперимент проводился с использованием восьмиместной пресс-формы, изготовленной по традиционной технологии с азотированием формообразующих поверхностей, с целью подтверждения теоретических знаний в области трещинообразования и износа формообразующих поверхностей вкладышей и вставок. Материалом заливки являлся сплав ЦА4М1 (ГОСТ 25140-93) с температурой плавления 380–386°C. В ходе эксперимента фиксировались дефекты и изменения размеров, а также контролировалось качество получаемых отливок по наиболее распространенным дефектам, таким как пористость, облой, на-

личие раковин, чистота поверхностного слоя. Завершение эксперимента могло быть вызвано двумя причинами: выходом из строя пресс-формы или негодностью получаемых отливок. Планирование эксперимента проводилось по общепринятой методике [2], согласно которой через  $y_1$  был выражен параметр ширины трещин на формообразующих поверхностях, а через  $y_2$  – параметр плотности расположения трещин. После вычисления коэффициента их корреляции  $r$  была определена взаимосвязь между данными факторами.

$$r_{y_1, y_2} = \frac{\sum_{u=1}^N (y_{1u} - y_1)(y_{2u} - y_2)}{\sqrt{\sum_{u=1}^N (y_{1u} - y_1)^2 - \sum_{u=1}^N (y_{2u} - y_2)^2}}, \quad (1)$$

где  $N$  – количество опытов;  $y_1$  и  $y_2$  – среднее арифметическое двух указанных выше параметров,  $u$  – текущий номер опыта. Также в проводимом эксперименте уровень степени свободы был равен  $f=6$ , так как изначально имелось восемь формообразующих вставок. Значение коэффициента корреляции оказалось примерно равным  $+1$ , что означает линейную зависимость между рассматриваемыми параметрами.

Тем не менее, все статистические методы прогнозирования эксперимента закладывают определенную степень риска, поэтому для полного исключения вероятности ошибки было необходимо проведение эксперимента от момента ввода пресс-формы в эксплуатацию до окончательного момента ее выхода из строя.

Поскольку минимальное количество циклов запрессовок пресс-форм, работающих с цинковыми сплавами, начинается от ста тысяч циклов, то снятие показаний проводилось не чаще, чем каждые пять тысяч циклов, за исключением момента ввода пресс-формы в эксплуатацию.

В результате проведенных экспериментов выяснилось, что в течение первых двух тысяч циклов были сформированы трещины разгара, образовавшие сетку разгара на формообразующей поверхности, т.е. трещины 1 типа. Данные трещины образуются по причине неравномерности распределения температуры в объеме пресс-формы в процессе заливки расплавленного металла, а также при охлаждении в промежутках между заливками. Данные значения подтверждают уже существующие теории трещинообразования в пресс-формах.

Указанный период работы пресс-формы, как практически у любого рабочего механизма, является приработкой, то есть в этот период работы пресс-формы начинают сказываться внутренние напряжения, оставшиеся от механической обработки металла при изготовлении пресс-формы. Аналогичный период приработки при литье, например, алюминиевых сплавов занимает менее тысячи циклов, что объясняется

их более высокой температурой плавления (примерно  $660^\circ\text{C}$ ) и большей химической активностью к металлу пресс-формы.

Дальнейший ход эксперимента показал, что рост данных трещин разгара значительно замедлился. Это указывает на то, что пресс-форма достигла рабочей фазы, то есть своего нормального состояния, когда внешние воздействия и внутренние напряжения не превышают предела текучести материала пресс-формы. В течение рабочего периода закон роста трещин принимает практически линейный характер, однако именно в течение рабочего периода пресс-формы формируются внутренние и магистральные трещины, которые, в конечном счете, и приводят к окончательному разрушению формообразующих поверхностей.

В течение всего эксперимента возникали дефекты, которые решались слесарным вмешательством. В частности, на формообразующих поверхностях образовывался нарост рабочего сплава, а также значительно ухудшалась шероховатость указанных поверхностей. Данные дефекты соответствующим образом влияли и на состояние получаемых отливок. Указанные проблемы устранялись при помощи дополнительной полировки формообразующих поверхностей. Данная операция позволяет лишь на непродолжительный срок увеличить период работы пресс-формы, и, достигнув отметки в сто восемьдесят тысяч запрессовок, эксперимент достиг своей первой критической отметки, при которой в получаемых отливках количество пор, шероховатость поверхностных слоев и облой достигли критических значений и дальнейшее их увеличение означало завершение эксперимента. При этом состояние формообразующих поверхностей все еще можно было оценить как удовлетворительное.

Однако, не достигнув отметки в двести тысяч циклов, эксперимент был остановлен по причине негодности получаемых отливок. Так как конечным звеном любой технологии является получаемое изделие (в нашем случае именно отливка), то параметры пресс-формы, на которой были получены негодные детали, являются критическими и их значения приведены в соответствующих зависимостях (рис.1, 2).

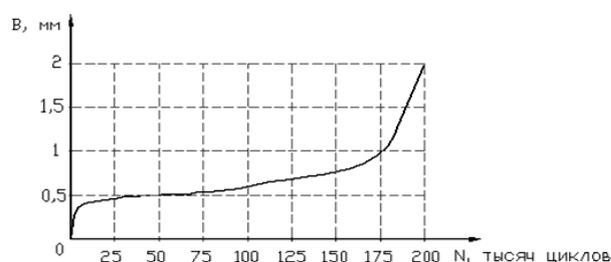


Рис.1. Зависимость ширины трещин разгара от количества циклов.

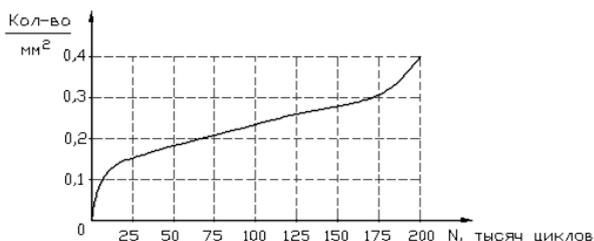


Рис. 2. Зависимость плотность сетки трещин разгара от количества циклов.

Также стоит добавить, что размеры трещин в глубину достигали на отдельных участках 4 мм.

Таким образом, в результате проведенных экспериментов при обобщении значений обоих графиков выяснилось, что имеются три ярко выраженных периода работы пресс-формы при литье цинковых сплавов: период приработки, рабочий период, период критического износа. Критическими параметрами трещин для последнего периода при литье под давлением цинковых сплавов являются: ширина трещины 2 мм и плотность сетки трещин – 0,4 трещины на квадратный миллиметр. Количество циклов в эксперименте составило примерно двести тысяч, несмотря на то, что данное значение удовлетворяет минимальным требованиям по стойкости, требуются мероприятия по увеличению рабочего периода формообразующих деталей [5]. Учитывая возникающие дефекты при работе пресс-формы, наиболее подходящим выглядит использование защитных покрытий.

Имеется достаточное количество исследований нитридов из соединений с хромом, титаном, молибденом в качестве защитных покрытий для режущего инструмента [4], однако их применение в области литья под давлением для цинковых сплавов изучено весьма слабо, поэтому в теории отсутствуют точные рекомендации по выбору и применению данных покрытий.

Практически все нитридные покрытия обладают высокой адгезией к материалу пресс-формы, химической устойчивостью к цинковым сплавам, окалино- и разгаростойкостью, низким коэффициентом трения, устойчивостью к гидродинамическим ударам, вызванным явлением кавитации в потоке расплавленного металла. Тем не менее, защитные покрытия на основе молибдена выгодно отличаются от остальных тем фактом, что данное покрытие работает, как твердая смазка и имеет аномально низкий коэффициент трения между формообразующей поверхностью и расплавленным металлом. В свою очередь, уменьшение коэффициента трения означает уменьшение теплообмена между отливаемым расплавом и металлом пресс-формы. Однако при литье под давлением цинковых сплавов данное предположение практически не проверялось.

Обычная толщина покрытия не превышает 6 мкм, что практически не влияет на конечные размеры

вставок, полученных после обработки резанием. Нанесение покрытия возможно методом осаждения из плазменной фазы с ионной бомбардировкой (метод КИБ) на установке типа «Булат б».

Одним из преимуществ метода КИБ является то, что при этом способе нанесения покрытия образуется до нескольких десятков слоев, наращенных друг на друга. Данная особенность увеличивает сопротивление покрытия образованию и росту трещин первого и второго типа. Однако наиболее эффективным способом по защите от роста трещин является чередование твердых и мягких слоев покрытия [4]. В случае такого чередования при прохождении через граничные слои рост трещин значительно замедляется в мягком слое. Различные виды покрытий позволяют варьировать значения микротвердости в достаточно больших диапазонах: от 22 до 50 ГПа по Виккерсу. Для этого необходимо произвести подбор слоев, наиболее полно удовлетворяющих требованиям литья под давлением.

Первый (нижний) слой должен быть мягким и обеспечивать максимально долгий контакт с формообразующей поверхностью пресс-формы, что в свою очередь увеличит период защиты основного материала пресс-формы. При этом уровень остаточных напряжений на данном слое должен быть невысок, чтобы уменьшить скорость роста трещин I типа на границе слоев. Именно по этой причине покрытие нитридом молибдена поверх материала пресс-формы будет недолговечным. Тем не менее, регулирование остаточных напряжений возможно за счет регулировки температуры осаждения покрытия. Поэтому в качестве материала первого слоя можно использовать карбонитрид молибдена как материал, достаточно близкий по составу к поверхностному слою вставок пресс-форм.

Для наружного слоя покрытия должны быть созданы условия, при которых будет минимальная вероятность появления трещин как первого, так и второго типа. Поскольку трещины в основном материале пресс-форм возникают из-за значительных температурных воздействий в течение короткого промежутка времени, то следует уменьшить данное воздействие за счет уменьшения коэффициента трения между расплавленным металлом и покрытием. Наиболее полно данным условиям соответствует нитрид молибдена.

Между наружным и нижним слоями должен находиться дополнительный слой с твердостью значительно выше, нежели у указанных. Также данный материал должен обеспечивать достаточную прочность с нижележащим материалом. Таким слоем может являться многокомпонентный материал: TiMoN. Таким образом, покрытие для литья под давлением цинковых сплавов должно состоять из: первого слоя карбонитрида молибдена, промежуточного слоя нитрида металлов молибдена и титана и поверхностного слоя нитрида молибдена.

Чередование слоев покрытия именно в таком по-

рядке образует следующую структуру слоев: мягкий – твердый – мягкий. Данная структура является более предпочтительной по сравнению со структурой твердый – мягкий – твердый по нескольким причинам. Одна из них заключается в том, что с точки зрения усилий, действующих на покрытие, в наружном мягком слое преобладают растягивающие напряжения, частично компенсируемые прижатием потока расплавленного металла. В случае же верхнего слоя с повышенной твердостью преобладают сдвиговые напряжения, стремящиеся сдвинуть поверхностный слой относительно последующих, тем самым нарушая целостность покрытия. Те же самые напряжения действуют и на границе между материалом пресс-формы и нижним слоем покрытия. Второй, не менее важной, причиной является то, что мягкий слой по сравнению с твердым в большей степени замедляет рост трещин, направленных от верхнего слоя покрытия к материалу пресс-формы. Таким образом, для литья под давлением цинковых сплавов, по усилиям и напряжениям, действующим на покрытия, а также из-за особенности роста трещин второго типа в материалах с различной твердостью наиболее предпочтительным выглядит покрытие со структурой слоев мягкий – твердый – мягкий.

Справедливость данных рассуждений может подтвердить лишь дополнительный эксперимент, од-

нако использование износостойких покрытий в других отраслях машиностроения увеличивают показатели эксплуатационной стойкости в 2–5 раз.

### Список литературы

1. Гавариев Р.В., Леушин И.О., Савин И.А. Проблема прогнозирования эксплуатационного ресурса пресс-форм литья под давлением цинковых сплавов и некоторые пути ее разрешения // Справочник. Инженерный журнал (с приложением). М., 2013. №6.
2. Березин Д.Т. Повышение эксплуатационной стойкости пресс-форм литья под давлением на основе анализа теплонапряженного состояния и моделирования процессов термоусталостного разрушения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Рыбинск, 2002. 28 с.
3. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при оптимальных условиях. М.: Наука, 1976. 277 с.
4. Табаков В.П., Смирнов М.Ю., Циркин А.В. Тонкопленочные многослойные покрытия побеждают трещины // Фундаментальные основы инженерных наук. 2007.
5. Гавариев Р.В., Савин И.А. Особенности проектирования технологической оснастки для получения отливок сплавов цветных металлов // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2012. №4, вып. 2. С. 41-43.

### Сведения об авторах

**Леушин Игорь Олегович** – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Литейно-металлургические процессы и сплавы» ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева». E-mail: igoleu@mail.ru.

**Савин Игорь Алексеевич** – канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой КТМП НЧФ КГТУ им. А.Н. Туполева.

**Гавариев Ренат Вильсорович** – ассистент кафедры КТМП НЧФ КГТУ им. А.Н. Туполева. E-mail: [Gavarievr@mail.ru](mailto:Gavarievr@mail.ru).



# ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 502.15:664

Киселёва К.А., Мельникова М.О., Боброва З.М.

## СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ В Г. МАГНИТОГОРСКЕ

**Аннотация.** Рассмотрены неблагоприятные факторы пищевой отрасли, имеющие воздействие и влияние на окружающую среду и предложены методы их уменьшения.

**Ключевые слова:** экологическая обстановка, пищевая промышленность, воздействие транспорта, озеленение, виды растительности.

Пищевая промышленность является загрязнителем окружающей среды, но в меньшей степени, нежели металлургические, химические и нефтеперерабатывающие предприятия. Однако почти все предприятия пищевой промышленности. Магнитогорска (молокозаводы, бойни и мясоперерабатывающие комбинаты, кондитерские фабрики, производства безалкогольных напитков, мелькомбинаты и хлебопекарные заводы, а также столовые, бистро, кафе, рестораны, магазины, оптовые и овощные базы) выбрасывают в атмосферу пыль, пары и газы, неблагоприятно воздействующие на окружающую среду, вызывают загрязнение воздуха, почвы, зеленых насаждений [1].

Частично характер загрязнений природной среды этими предприятиями совпадает с таковыми для любых отраслей промышленности (к ним относят шумы, вибрации, различные электромагнитные излучения). Определенная часть загрязняющего воздействия данной отрасли связана с применением автомобильного, а иногда и наземного железнодорожного транспорта. Поэтому были изучены методы снижения воздействия различных видов транспорта на окружающую среду, приведенные в таблице, которые также могут быть применены на производстве продуктов питания.

Однако сфера массового питания, торговли и пищевой промышленности имеет и своё специфическое влияние. В этой сфере образуются газообразные, жидкие и твердые отходы, которые в большинстве относятся к органическим веществам (например, отходы при производстве подсолнечного и других масел – шелуха семян, жмых или отходы от производства сахара из сахарной свеклы – жом, карбонат кальция, сульфаты и т.д.), хотя возможно образование и неорганических соединений, продуктов разложения органических веществ. Получающиеся твердые или смешанные (твердожидкие) отходы, особенно при работе предприятий общественного питания, являются ценным сырьем для животноводства, используя их в качестве корма для скота, либо после их определенной переработки – для растениеводства.

Мероприятия по снижению неблагоприятных воздействий

объектов транспорта на землю

Мероприятия	Для автомобильного транспорта	Для железнодорожного транспорта
	Проектировка специальных сооружений против размыва земель для предотвращения эрозии	Рациональный выбор площадок для размещения сооружений с учетом уменьшения площади изъятия земель; размещение различных объектов транспорта в полосе отвода железной дороги
	Постройка специальных защитных валов для предохранения окружающих земель от загрязнения при процессе закрепления полотна дорог вяжущимся веществом	Применение новых систем электроснабжения; уменьшение объема нарушений земли за счет сооружений
	Размещение сельскохозяйственных культур вдоль автомобильных дорог с высокой грузонапряженностью	Техническое усовершенствование экипировочных устройств на АЗС для уменьшения пролива нефтепродуктов на землю
	Огораживание трассы дорог путем посадки зеленых насаждений, либо устройством специальных оград	Обдувка и обмывка локомотивов перед ремонтом только в закрытых помещениях с применением специальных средств очистки
	Размещение различных сооружений и обслуживающих пунктов автомобильных, железных дорог в пределах ширины полосы отвода земель	

Опасность большинства смешанных отходов состоит в том, что они являются субстратом (пищевой базой) для различных сапрофитных организмов (грибов, бактерий и т.д.), что создает возможность возникновения эпидемий.

Отходы мясомолочной промышленности резко ухудшают органолептические качества среды (появляются неприятные запахи, возникают отрицательные вкусовые ощущения и т.д.), способствуют появлению большого количества насекомых — переносчиков заболеваний. Небрежное ведение хозяйства на пред-

приятнях пищевой промышленности, торговли и масового питания сопровождается значительным размножением мышевидных грызунов (крысы и др.), что также создает предпосылки к увеличению заболеваемости населения на данной территории [3]. Определенную часть загрязнений образуют испорченные товары, утратившие свои потребительские свойства, а также бытовые отходы.

Применение каждого вида твердожидкостных отходов предприятиями зависит от конкретных условий на данной территории.

Были рассмотрены природные особенности территории Магнитогорска. Для Южноуральской лесостепной зоны характерен континентальный климат. Зима холодная и продолжительная, лето относительно жаркое с периодически повторяющимися засухами. Атмосферные осадки на территории области распределяются неравномерно. На равнинном Зауралье годовые суммы осадков уменьшаются с севера на юг от 500 до 300 мм. Количество летних осадков колеблется в больших пределах. Изменчива и годовая величина осадков, она может в разные по влажности годы изменяться в три-четыре раза [7].

В данных условиях могут произрастать конкретные виды растительности, что следует учитывать при проведении природоохранных мероприятий по озеленению.

Отходы, не пригодные для кормовых целей, используют как основу для получения органических удобрений (через получение компостов) [5].

Наряду с вышеперечисленными способами снижения влияния производства на окружающую среду (см. таблицу), может быть предложено озеленение санитарно-защитной, жилой и производственной зон на территории г. Магнитогорска. В ассортимент растений включают декоративные виды, произрастающие в данном географическом районе в естественных условиях и выращиваемые в питомниках, при этом учитывают долговечность, быстроту роста, требовательность растения к условиям произрастания, продолжительность вегетации, бактерицидные свойства, газопоглотительную способность, устойчивость к производственным выделениям, влияние растений на животных и человека. А деревья и кустарники являются наиболее рациональным видом озеленения. Они не требуют такого систематического ухода, как цветы и вместе с тем приносят большую биологическую пользу [6]. Например, дерен белый – чудесный неприхотливый морозостойкий быстрорастущий большой кустарник, достигающий 3 м в высоту и диаметре. Переносит любую почву, в том числе и замокающую, хорошо растет на солнце, в тени и полутени. Или тополь, который способен расти чуть ли не в любых условиях и встречается в городских зеленых насаждениях от субтропиков до северной границы умеренного пояса. На Северо-Западе он забирается даже в субарктическую область. Но бич тополя – это его семена. Тополинный пух летом наполняет воздух, за-

соряет мостовые и тротуары и вызывает у многих людей аллергию.

Деревья, такие как клён, тополь, берёза, липа, вяз, не слишком требовательны к чистоте воздуха и довольно хорошо растут даже на оживлённых магистралях, вблизи фабрик и заводов [2].

Нами проведен поиск видов растительности, которые для условий г. Магнитогорска в максимальной степени будут бороться с таким вредным веществом, как двуокись серы. Наблюдали березу пушистую, ясеня, вяз, липу, клен. Участвовал в эксперименте и тополь. Общий вес листьев в кроне (в пересчете на сухое вещество) равен примерно десяти килограммам. В итоге выяснилось: за май, июнь, июль, август, сентябрь листья клена вобрали в себя 30 г ядовитых примесей, листья липы – 100 г, вяза – 120 г, ясеня – 140 г. А тополь бальзамический лучше всех отбил «газовую атаку» – он поглотил 180 г двуокиси серы. Всего себя отдал исцелению воздуха, оказался самым выносливым «санитаром» [4].

Также предлагалось использовать коноплю для «охраны окружающей среды». Ученые выяснили, что она очень хорошо очищает воздух от автомобильных выхлопов, а также в больших количествах поглощает тяжелые металлы, содержащиеся в дымовых выбросах заводов и фабрик. Трава могла бы облегчить экологическую ситуацию. А для того чтобы нейтрализовать дурманящие свойства конопли, ученые вывели специальный сорт этого растения, из которого нельзя приготовить опасное зелье. Но идея не была поддержана по следующим причинам: во-первых, сейчас по стране осуществляется строгий наркоконтроль и коноплю, наоборот, выкорчевывают; во-вторых, конопля растет очень буйно, и этот бурьян очень трудно оформлять в красивые газоны или живые изгороди; в-третьих, наркоманы, сколько им не объясняй, что этот вид конопли не содержит наркотических компонентов, все равно не дадут ей расти.

С целью сохранения биоразнообразия природных экосистем, которые истощены вследствие плановых рубок (происходит замена хвойных деревьев на лиственные, что является крайне нецелесообразным), также предлагается дополнительное озеленение деревьями хвойной породы.

Предложенные виды растений могут расти в нашем климате, например на улицах города вдоль проезжей части. Наблюдения показали недостаточное озеленение северо-восточной части города. В этих местах рекомендуется посадка деревьев и кустарников.

### Список литературы

1. Гарин В.М., Кленова И.А., Колесников В.И. Экология для технических вузов. Ростов н/Д.: Феникс, 2001. 384 с.
2. Голусов П.В., Лисецкий Ф.Н. Воспроизводство почв в антропогенно нарушенных ландшафтах лесостепи. М.: ГЕОС, 2009.

3. Денщикова М.Т. Отходы пищевой промышленности и их использование. М.: Пищепромиздат, 1963. 616 с.
4. Нормы посадки деревьев и кустарников городских зеленых насаждений. URL: [http:// www.znaytovar.ru/gost/2/normy\\_posadki\\_derevev\\_i\\_kustar.html](http://www.znaytovar.ru/gost/2/normy_posadki_derevev_i_kustar.html)
5. Полная энциклопедия. URL: <http://www.polnaja-jenciklopedija.ru/>
6. Строительство и недвижимость. URL: <http://rusbuildrealty.ru/>
7. Министерство экономического развития Челябинской области. URL: <http://www.econom-chelreg.ru/>

### Сведения об авторах

**Боброва Залия Маратовна** – канд. техн. наук, доц. факультета стандартизации, химии и биотехнологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 29-84-88.

**Киселева Ксения Александровна** – студентка факультета стандартизации, химии и биотехнологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Мельникова Мария Олеговна** – студентка факультета стандартизации, химии и биотехнологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».



УДК 678.6.952 678:02.541.07

Гиревая Х.Я., Гиревой Т.А., Боханова К.Е.

## АНТИКОРРОЗИОННОЕ ПОКРЫТИЕ НА МЕТАЛЛ ИЗ ПРОДУКТОВ ХИМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

**Аннотация.** Получен композиционный материал путем химической деструкции полиэтилентерефталата. Изучен состав методами ИК-спектроскопии и газовой хроматографии. Полученный композиционный материал апробирован в качестве антикоррозионного покрытия для металлопроката. Установлено, что при предварительном фосфатировании пластин повышается адгезия покрытия к металлу и существенно тормозится развитие коррозии.

**Ключевые слова:** композиционный материал, полиэтилентерефталат, коррозия, лакокрасочное покрытие, адгезия, химическая деструкция, гликолиз.

Утилизация упаковки из полиэтилентерефталата (ПЭТ) является проблемой мирового масштаба. Одним из основных современных направлений утилизации полиэтилентерефталатной упаковки является ее химическая переработка, обеспечивающая возможность дальнейшего использования полученных продуктов. Продукты химической деструкции полиэтилентерефталата возможно использовать в качестве флотореагентов для флотации газовых углей [1], для очистки сточных вод [2], для получения древесно-полимерного композиционного материала [3, 4], а также для производства лакокрасочных материалов [5]. Свойства лакокрасочных покрытий определяются составом лакокрасочных материалов (типом пленкообразующих веществ, пигментов и др.), а также структурой покрытий, которые в большинстве случаев состоят из нескольких слоев. Важнейшие требования к лакокрасочным покрытиям - прочное сцепление (адгезия) отдельных слоев друг с другом, а нижнего слоя - также и с подложкой, твердость, прочность при изгибе и ударе, влагопроницаемость, атмосферостойкость, комплекс декоративных свойств. Отличительная особенность лакокрасочных материалов состоит в том, что в соединения, входящие в состав лаков, спо-

собны в процессе пленкообразования вступать в реакцию сополимеризации с образованием сетчатого сополимера [6]. Взаимодействие полиэфира с мономером-растворителем и образование сетчатого полимера обычно происходит под действием инициаторов полимеризации и ускорителей.

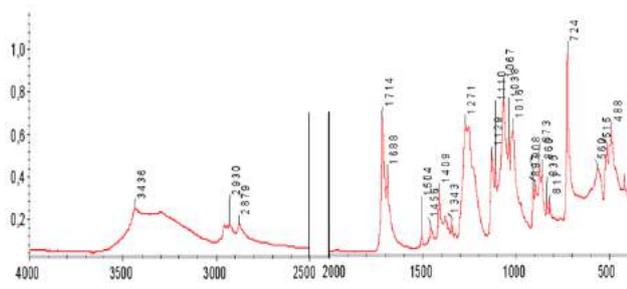
На сегодняшний день на рынке полимерных покрытий и лаков представлен сравнительно большой выбор различных комплексных материалов. Основными поставщиками полимерных материалов в России являются три ведущие европейские компании: «BASF» (Германия), «Акзо Нобель» и «Беккерс» (Швеция) [7].

В лабораторных условиях исследована возможность применения в качестве защитного покрытия для металлопроката композиционного материала из ПЭТ.

Композиционный материал из ПЭТ получали при гликолизе полиэтилентерефталатных изделий в этиленгликоле в соотношении 1:3 при температуре 190°C. Полученный раствор представляет собой жидкость белого цвета со слабым запахом, Физические свойства композита: плотность 1,17–1,20 г/см<sup>3</sup>; температура кипения 210,5°C; температура застывания 7,5°C; динамическая вязкость 20,59 МПа·с; кинемати-

ческой вязкость 17,87 мм<sup>2</sup>/с; величина остатка после прокаливания 0,207 %; йодное число 0,25 йода/100 г.

Из ИК-спектра композиционного материала видно, что полоса поглощения при 1310, 1150 см<sup>-1</sup> соответствует валентным колебаниям (-C-O) терефталатов, при 1760 см<sup>-1</sup> валентные колебания кетонной связи (-C=O). Наличие полосы поглощения при 1500 см<sup>-1</sup> соответствует плоскостным колебаниям углеродного скелета (-C=C-) ароматических соединений; при 3060 см<sup>-1</sup> валентным колебаниям (=C-H) углеродно-водородной связи; полоса 740 см<sup>-1</sup> соответствует деформационным колебаниям СН – бензольного кольца (имеется пять незамещенных атомов водорода, расположенных по соседству). Полоса поглощения при 3380 см<sup>-1</sup> соответствует валентным колебаниям гидроксильной (-OH) группы. Полоса поглощения при 2900, 1450 см<sup>-1</sup> соответствует валентным колебаниям связи С-Н метиленовой группы (-CH<sub>2</sub>-); 2960 см<sup>-1</sup> валентные колебания С-Н метильной группы (-CH<sub>3</sub>); 1400 см<sup>-1</sup> колебания связи углеродно-метиленовой; 1700 см<sup>-1</sup> валентные колебания -C-O- связи в спиртах.



ИК-спектр композиционного материала

Проведенные исследования методами ИК-спектроскопии и газовой хроматографии показали, что полученный в лаборатории композиционный материал содержит полиэфирные группы, что позволяет отнести его к группе универсальных грунтов.

Полученный в процессе химической утилизации полиэтилентерефталата композиционный материал был апробирован в качестве антикоррозионного покрытия для металлопроката.

Технологический процесс получения лакокрасочных покрытий включает операции подготовки поверхности, нанесения отдельных слоев, сушку лакокрасочных покрытий и их отделку. Качество подготовки поверхности под окраску в значительной степени определяет адгезию лакокрасочных покрытий к подложке.

Технологический процесс в лабораторных условиях состоял из следующих операций:

1. Обезжиривание пластин щелочным раствором в течение 2–5 мин при 50–60°C.
2. Промывка в проточной воде в течение 0,5–1 мин при 50°C.
3. Хроматирование окунанием при 23–25°C в течение 1–5 мин.

4. Промывка в холодной проточной воде в течение 1 мин.
5. Холодное фосфатирование окунанием при 23–25°C в течение 40–50 мин.
6. Промывка в проточной воде в течение 0,5–1 мин при 50°C.
7. Выдержка пластинок в течение 24 ч с целью удаления влаги пленки.
8. Очистка поверхности пластины ацетоном.
9. Нанесение слоя комплексного материала металлическим валиком.
10. Выдержка в шкафу при температуре 160–180°C в течение 50–70 с.
11. Охлаждение при комнатной температуре в помещении лаборатории.

Состав для фосфатирования: ортофосфорная кислота 40%; дингидрофосфат цинка 10%; оксид хрома (III) 10%; перманганат калия 10%; дигидрофосфат алюминия 5%; этиловый спирт 20%; бутиловый спирт 5%.

Для исследований использовали три вида пластин:

- 1) с обезжиренной поверхностью;
- 2) с поверхностью, подвергшейся обезжириванию и дополнительному хроматированию;
- 3) с поверхностью, подвергшейся обезжириванию и дополнительному фосфатированию

Для сравнения брали материал BASF.

Нанесенное полимерное покрытие из композиционного материала формировалось после нагревания одновременно по всей поверхности субстрата независимо от профиля и образовывало на ней защитный однородный слой.

Покрытые полимером металлические пластинки были подвергнуты испытаниям. Полученные результаты приведены в таблице. По результатам таблицы видно, что при нанесении полимерного покрытия не нужно проводить хроматирования, т.к. результаты испытания хроматированных металлических пластин оказались хуже. Что, вероятно, связано с побочными процессами окисления, протекающими при взаимодействии реагента с хромированной поверхностью (окисление гидроксильных групп). Хорошие результаты при дополнительном фосфатировании объясняются образованием на поверхности химически связанного слоя нерастворимых фосфатов. Фосфатирование повышает адгезию покрытия к металлу и существенно тормозит развитие подпленочной коррозии. Результаты проведенных сравнительных испытаний показали, что полимерное покрытие из продуктов химической деструкции ПЭТ имеет хорошую адгезию к металлу, твердость и прочность после вытяжки соответствует стандартам для полимерных покрытий. Величина стойкости к истиранию показала, что полученное полимерное покрытие имеет хорошее поперечное соединение с металлом.

Результаты испытаний покрытия композиционного материала на металлоизделии с различными способами

## подготовки пластин

Наименование показателя	BASF	Композиционный материал		
		Обезжиренная пластина	Хроматированная пластина	Фосфатированная пластина
Прочность после вытяжки, мм	6	7	1	8
Прочность при обратном ударе, Дж	10	11	1	12
Твердость по карандашу	F-H	H	4H	H
Стойкость к истиранию растворителем МЭК, число двойных проходов	100	Более 100	16	Более 100
Эластичность при изгибе, Т	3	1	3,5	3
Адгезия, Т	0	0	3,5	0

В результате математического моделирования с использованием полного факторного эксперимента  $2^2$  с равномерным дублированием опытов выявили технологию нанесения полученного композиционного материала. Полимерное покрытие формируется при температуре 280°C в течение 70 с.

Пластинки с нанесенным композиционным материалом подвергли испытанию на коррозионную стойкость в «камере солевого тумана». Первые признаки коррозии в виде точечной коррозии появились на металлических пластинках с композиционным материалом по истечению 24 ч в рабочем режиме и 99 ч в выключенном режиме камеры (4% от всей площади поверхности). На пластинках с полимерным покрытием BASF коррозия (2% от всей площади поверхности) появилось в те же интервалы времени. На предварительно фосфатированных пластинках точечная коррозия проявилась при рабочем состоянии камеры через 72 ч.

## Сведения об авторах

**Гиревая Ханифа Яншаевна** – канд. техн. наук, доц. факультета стандартизации, химии и биотехнологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: hanifa70@list.ru.

**Гиревой Тимур Андреевич** – студент гр. АВ6-12 института энергетики и автоматизированных систем ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: Arxangel\_92@list.ru.

**Боханова Ксения Евгеньевна** – студентка гр. ТУ-09 факультета стандартизации, химии и биотехнологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: ksenia.bokhanova@gmail.com.



## Список литературы

1. Медяник Н.Л., Варламова И.А., Гиревая Х.Я. Разработка реагента для флотации углей низкой стадии метаморфизма на основе квантово-химических расчетов. Магнитогорск, 13 с. Деп. в ВИНТИ 25.01.2006, № 72-В2006.
2. Пат. 2359920 РФ, МПК С 02 F 1/62 и С 02 F 1/24. Способ очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов / Медяник Н.Л., Шадрюнова И.В., Гиревая Х.Я., Строкань А.М.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (RU). 2008107290; заявл. 26.02.08; опубл. 27.06.09, БИПМ. 2009. №18. 2 с.
3. Гиревая Х.Я., Шубина Н.И. Утилизация полимерных отходов путем получения древесно-полимерного композиционного материала и исследование его свойств // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Вып. 12. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 156-161.
4. Гиревая Х.Я., Шубина, Н.И. Композиционные материалы на основе вторичного полимерного сырья // Актуальные проблемы современной науки, техники, образования: материалы 71-й межрегион. науч.-техн. конференции / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. Т. 1. С.282–285.
5. Использование продуктов химической деструкции ПЭТ для антикоррозионного покрытия металлов / Куликова Т.М., Гиревая Х.Я., Шубина О.И., Шубина Н.И. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 68-й межрегион. науч.-техн. конференции. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. С. 87–90.
6. Дьяченко А.В., Ильин В.И. Нанесение влагозащитного покрытия методом пиролитической полимеризации // Лакокрасочные материалы и их применение. 2002. №10. С. 12-14.
7. Пилогина Н.И., Михайлова Т.С., Мозговая Л.В. Контроль качества проката с полимерным покрытием в ОАО «ММК» // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. №3. С. 73-75.

УДК 621.74.043.2

Моисеев Д.О., Леушин И.О.

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КИСЛОРОДОСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИЦИЙ

**Аннотация.** Рассмотрены токсическое воздействие смазок при попадании на тело, вдыхании тумана, факторы, влияющие на увеличение токсичности смазок, пути снижения вредного воздействия их на организм человека.

**Ключевые слова:** пресс-форма, смазка, туман, токсичность, загрязнения атмосферы.

В литье под давлением обычно в качестве разделительной смазки используется водная эмульсия (например, TRENNEK W 9000/16). Данные разделительные смазки разбавляются водой в отношении 1:80 – 1:100. Смазывание пресс-форм производится либо вручную, с использованием специального распылителя, либо при помощи автоматического смазчика (см. рисунок). При контакте с поверхностью пресс-формы часть смазки вместе с испарившейся водой попадает в атмосферу цеха. Это особенно проявляется при литье средних и больших отливок (1-2 кг и более 2 кг соответственно).



*Смазывание пресс-формы  
автоматическим смазчиком*

В состав смазок для литья под давлением входят минеральные масла и эмульгаторы. Токсическое действие смазок может проявиться главным образом при чистом попадании масла на открытые участки тела, при длительной работе в одежде, пропитанной маслом, а также при вдыхании тумана. Токсичность смазок усиливается с повышением температуры кипения масляных фракций, с повышением их кислотности и увеличением в их составе количества ароматических углеводородов, смол и сернистых соединений. Смазки в виде аэрозолей (ПДК для масляного аэрозоля - 5 мг/м<sup>3</sup>) могут оказывать резорбтивное действие, попадая в организм через органы дыхания, а также поражать последние. При этом наибольшую потенциальную опасность представляют смазки, содержащие в своем составе летучие углеводороды (бензин, бензол

и др.) или сернистые соединения. Длительный контакт с парами смазок и может способствовать заболеванию раком легких и бронхов.

Для эффективного удаления аэрозолей смазок из атмосферы цеха на современных машинах предусмотрена вытяжная вентиляция, которая расположена над литейной машиной и может перемещаться по специальным рельсам, позволяя устанавливать и снимать пресс-формы. Данная вытяжная вентиляция предусмотрена как дополнительная опция при продаже, и ввиду сложившейся традиции на предприятиях нашей страны на этом экономят (стоимость такой вентиляции составляет 10-15% от стоимости литейной машины).

Для снижения аэрозольного загрязнения атмосферы цеха авторами предлагается использовать кислородный процесс. Суть процесса заключается в «продувке» камеры прессования и рабочей полости формы кислородосодержащей пеной\*. Источником кислородосодержащей пены в данном способе служит пероксид водорода. Разложение пергидроля происходит в специальной реакционной емкости при помощи катализатора - оксида марганца. Из реакционной емкости по гибкому шлангу пена, в состав которой входят ПАВ, СОЖ и вода с кислородом, попадает в полость формы. Пена при контакте с горячей поверхностью пресс-формы лопаются, охлаждая и смазывая формообразующие, в результате чего в полость формы выделяется кислород, который, вследствие большей молекулярной массы, выдавливает воздух из нее.

Для обеспечения стабильности и эффективности процесса количество минерального масла (СОЖ) существенно снижено по сравнению с обычным процессом смазывания. Это создает благоприятные условия труда на рабочем месте заливщика, уменьшает аэрозольное загрязнение атмосферы цеха, не прибегая к дорогостоящим решениям производителей литейных машин.

\* Моисеев Д.О., Леушин И.О. Развитие «кислородного» процесса литья под давлением алюминиевых сплавов // Теория и технология металлургического производства: сб. науч. тр. / МГТУ им. Г.И. Носова. Магнитогорск, 2011. Вып. 11. С. 123–127.

**Сведения об авторах**

**Леушин Игорь Олегович** – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Литейно-металлургические процессы и сплавы» ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева». Тел.: (831) 436-63-88, 436-43-95. E-mail: fmvvt@nntu.nnov.ru; lmps@nntu.nnov.ru.

**Моисеев Дмитрий Олегович** – аспирант кафедры «Литейно-металлургические процессы и сплавы» ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева». E-mail: mdmitry.bel@gmail.com.



УДК 622.002.8

Свиридова Т.В.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОМЕМБРАН ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ ХРАНИЛИЩ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ**

**Аннотация.** Рассмотрены и проанализированы достоинства и недостатки традиционных и современных геосинтетических противофильтрационных экранов, используемых при размещении промышленных отходов в выработанном карьерном пространстве. Предложены мероприятия технического и технологического характера по обеспечению требуемой устойчивости откосов.

**Ключевые слова:** промышленные отходы, геомембрана, противофильтрационный экран, устойчивость, бентонитовые маты, изоляция дна, технические и технологические мероприятия по обеспечению устойчивости.

В настоящее время деятельность горнодобывающих предприятий представляет весьма ощутимую экологическую угрозу. Основной проблемой являются объемы нарушения экосистемы при разработке месторождений.

Основной источник разрушения – формирование техногенных образований в виде отвалов пустых пород, доменных шлаков и шламохранилищ. Вопросы размещения отходов геотехнологических и металлургических процессов являются весьма актуальными для регионов с развитой тяжелой промышленностью.

Существующие технологии и применение современных материалов дают возможность оптимизировать процессы хранения отходов промышленности.

Для предотвращения проникновения загрязняющих веществ в окружающую среду при размещении отходов высокого класса опасности необходимо создавать изоляционные экраны.

Изоляция дна и откосов емкостей для размещения отходов должна отвечать следующим требованиям: иметь определенный коэффициент фильтрации на протяжении всего периода эксплуатации, обладать термической и химической инертностью, механической прочностью и структурной однородностью.

Основными традиционными материалами для их сооружения являются глина и суглинки, которые присутствуют в достаточном количестве при разработке месторождения.

Однако такие противофильтрационные экраны имеют существенные недостатки:

- отсутствие инструментальных методов контроля герметичности экрана;
- высокий риск растрескивания экрана;
- ослабление изоляционных свойств;
- трудоемкая технология устройства;
- негативное влияние на природу.

Одними из самых перспективных материалов для изоляции агрессивного содержимого являются геосинтетика. Технология их применения в мире насчитывает полвека, в России – чуть более 15 лет. Полимерные противофильтрационные экраны – современное решение при создании полигонов промышленных отходов, хвостохранилищ и шламонакопителей, гидротехнических сооружений промышленных комплексов (рис.1).

Полимерные мембраны, бентонитовые глиноматы, природные минеральные материалы являются главными составными элементами современных геосинтетических экранов.

Противофильтрационный экран включает подстилающий слой грунта, собственно противофильтрационный элемент и защитный грунтовый слой.

Противофильтрационный элемент экрана выполняется из одного слоя геомембраны или из двух слоев с разделительным дренажным слоем, а также из геомембраны в сочетании с природной глиной или бентонитовыми матами.

Геомембраны и бентонитовые маты являются практически водонепроницаемыми материалами. Геотекстиль выполняет защитные и разделительные функции [1].



Рис. 1. Применение полиэтиленовых геомембран при формировании хранилищ промышленных отходов



Рис. 2. Монтажные работы по формированию противофильтрационных экранов

Геомембраны HDPE и LDPE – рулонные полимерные материалы из полиэтилена высокой и низкой плотности – характеризуются:

- высокой прочностью на сжатие и растяжение до 26 МПа;
- высокими гидроизоляционными свойствами с коэффициентом фильтрации 10–8 м/сут;
- большим относительным удлинением до 800%, гибкостью, безусадочностью и трещиностойкостью;
- устойчивостью к кислотам и щелочам в диапазоне рН от 0,5 до 14 и другим химическим воздействиям;
- долговечностью и устойчивостью к температуре от - 50 до +60°C и ультрафиолетовому облучению [1].

Геомембранные материалы обеспечивают водонепроницаемость, высокую устойчивость к большинству химических соединений, устойчивость к ультрафиолетовому излучению, трещинообразованию, к действию микроорганизмов и прорастанию корней растений, обладают высокой механической прочностью и пластичностью.

Именно полиэтиленовые геомембраны стали неотъемлемой частью всех международных стандартов, обязательных при сооружении противофильтрационных экранов гидротехнических сооружений, в частности накопителей токсичных промышленных отходов, полигонов захоронения отходов производства и потребления (рис. 2).

Технические параметры полиэтиленовых геомембран, их работоспособность в условиях эксплуатации объекта позволяют применять данную технологию в горнодобывающей отрасли промышленности:

- при проектировании и строительстве полигонов отходов производства различных классов опасности - твердых и жидких;
- в качестве противофильтрационных экранов площадок кучного выщелачивания, технических водоемов, для покрытия хвостовых дамб;
- при вторичной гидроизоляции резервуарных парков;
- для антикоррозионной и гидроизоляционной защиты металлических, железобетонных конструкций (промышленных резервуаров, заглубленных частей сооружений, инженерных сетей и систем инженерно-технического обеспечения) [1].

Для того чтобы готовая конструкция с использованием геосинтетиков являлась надежной и долговременной, мало лишь качественного материала. Эффективность готового сооружения должна быть обусловлена обеспечением устойчивого объемно-напряженного состояния откосов уступов и бортов карьеров, используемых для размещения отходов.

Для инженерных расчетов объемного коэффициента запаса устойчивости откоса, не проработанного и проработанного подземными выработками, может быть использовано суммирование удерживающих и сдвигающих сил с учетом изменчивости их направлений по изогнутой поверхности скольжения и с учетом изменения физико-механических свойств массива пород [2, 3].

Для достижения требуемого коэффициента запаса устойчивости откосов бортов карьеров, пригодных для размещения промышленных отходов, необходимо использовать мероприятия технического и технологического характера.

На верхних горизонтах карьера, сложенных мягкими породами, могут возникнуть оползни. С целью их предотвращения необходимо укреплять скальную вскрышей верхние горизонты карьера.

К техническим мероприятиям относятся механическое укрепление и упрочнение пород. Механическое укрепление осуществляется использованием контрфорса, железобетонных свай и подпорных стенок. Упрочнение пород достигается применением цементации, нагнетания укрепляющих растворов из полимерных материалов. Данные мероприятия необходимо применять при сложении массива борта карьера сильнотрещиноватыми, трещиноватыми скальными, а также рыхлыми увлажненными породами. В качестве технологического мероприятия можно использовать обеспечение минимального коэффициента запаса устойчивости. Это возможно при ускоренной выемке горной массы и размещением отходов в карьере [4].

Таким образом, решение вопроса целесообразности, а также конструкции противофильтрационных экранов или завес при строительстве объектов хранения промышленных отходов требует системного подхода как в выборе материала для создания противофильтрационного экрана, так и в вопросе обеспечения устойчивости создаваемой конструкции.

### Список литературы

1. Хранилища промышленных отходов для предприятий горнодобывающей отрасли [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gidrokoг.ru> (дата обращения: 20.11.2013).
2. Кузнецова Т.С., Некерова Т.В. Предельная высота подработанного откоса подземными выработкам при действии объемных сил // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. № 3. С. 5-8.
3. Гавришев С.Е., Кузнецова Т.С., Некерова Т.В. Методика обоснования параметров бортов карьеров при выемке прибортовых запасов подземным способом // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. № 1. С. 14-17.
4. Свиридова Т.В. К вопросу обоснования устойчиво-безопасных параметров бортов карьеров, используемых для размещения промышленных отходов с целью обеспечения экологической безопасности // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 71-й межрегиональной научно-технической конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. Т.1. С. 180–183.

### Сведения об авторе

**Свиридова Татьяна Валерьевна** – канд. техн. наук, ст. преп. факультета стандартизации, химии и биотехнологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519)29-84-62. E-mail: ntv\_3110@mail.ru.



УДК 006.074

Лимарева Ю.А., Тахтина А.В., Лимарев И.П.

## ВЛИЯНИЕ СТАНДАРТОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА НА МИКРОЭКОНОМИЧЕСКУЮ ПОЛИТИКУ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

**Аннотация.** В статье кратко описана история внедрения международных стандартов в российской промышленности на примере химических производств. Показано влияние применения стандартов экологического менеджмента на микроэкономическую политику предприятий. Подчёркнуто, что интеграция российской химической промышленности в международное сообщество через внедрение международных стандартов качества в области охраны труда и экологической безопасности обеспечивает рост конкурентоспособности предприятий, а также повышает уровень их экономической и экологической привлекательности в глазах иностранных и отечественных инвесторов.

**Ключевые слова:** стандарты системы качества, управление качеством, менеджмент качества, экологический менеджмент, международные стандарты, химическая промышленность, риски экологического воздействия, программа «Responsible Care».

История стандартов качества ИСО 9000 (ISO 9000) восходит к стандартам BSI 5750, разработанных в Великобритании в конце семидесятых годов. В настоящее время в базовую серию ИСО 9000, представляющую собой пакет документов по созданию систем качества, входят семейство международных стандартов с номерами 9000-9004, 10001 и 10020, а также 8402 и некоторые особые стандарты для предприятий, выпускающих специфические виды продукции.

Управление качеством обычно рассматривают в контексте двух систем: TQM (Total Quality Management) и «Стандартов системы качества» ИСО 9000. Последние имеют в России административное закрепление на государственном уровне, в связи с этим производственные предприятия базируют свою деятельность, основываясь на методическом и информационном обеспечении. Семейство стандартов ИСО 9000 подразумевает особую организацию систе-

мы производства предприятия. Главное в этой организации, как отмечает С.Н. Колесников, это «документированность всех процессов, имеющих отношение к производству продукции и могущих оказать существенное влияние на его качество» [1]. Фактически речь идёт о производственных процессах. Термин «стандарт» обычно подразумевает определённый набор жёстко закреплённых правил, норм, характеристик и требований к производимому продукту.

Однако построение системы качества на предприятии, основанной на стандартах серии ИСО, не может обеспечить, во-первых, совершенствование данной системы, а во-вторых, улучшение качества производимой продукции. Под «качеством» Э.А. Смирнов подразумевает не только «определённый уровень технической базы, технологии, экономики, организации производства и культуры, но и соответствующий уровень профессионализма и культуры

управленческих отношений» [2].

Таким образом, для совершенствования системы качества на предприятии и обеспечения необходимого качества продукции разработана концепция системы всеобщего управления качеством – TQM (Total Quality Management). Следуя авторам [3], TQM определяется как «сосредоточенный на качестве, сфокусированный на заказчике, основывающийся на фактах, управляемый командный процесс. TQM направлен на планомерное достижение стратегической цели организации через непрерывное улучшение работы.

Слово «всеобщее» в понятии «всеобщее управление качеством» означает, что в данный процесс должен вовлекаться каждый сотрудник организации; слово «качество» означает заботу об удовлетворении потребностей конечного потребителя; слово «управление» относится к сотрудникам и процессам, необходимым для достижения определенного уровня качества» продукта.

Всеобщее управление качеством – это систематический, интегрированный и организованный стиль работы, направленный на непрерывное её улучшение, на соответствие менеджменту качества.

Семейство международных стандартов, охватывающих вопросы экологического менеджмента, предназначены для информирования предприятий и организаций в вопросах экологических требований, применяемых к производимой продукции. Международный стандарт ИСО 14001:2004 даёт возможность предприятию разработать и реализовать производственный процесс согласно законодательным и нормативным требованиям экологии. Основной целью, которую преследует данный стандарт, является защита окружающей среды от вредного воздействия различного рода производств, а также требования социальной и промышленной безопасности, энергосбережение и охрана труда.

В настоящее время, в связи с особой актуальностью развития химических производств и применения продукции химических предприятий, практически во всех ведущих направлениях и сферах хозяйственной деятельности, а также для нужд высокотехнологичных отраслей промышленности (в строительстве, энергетике, космической отрасли, металлургии, аграрной и сельскохозяйственной промышленности, биотехнологии, медицине, ветеринарии, фармацевтической отрасли, при производстве продукции бытового назначения и пр.) возникла необходимость проанализировать влияние стандартов экологического менеджмента на микроэкономическую политику химических производств.

Производственные процессы химических предприятий напрямую связаны с потенциальными рисками загрязнения окружающей среды и представляют собой угрозу для здоровья людей. Именно поэтому

ухудшающаяся экологическая ситуация в развитых европейских странах и США привела к необходимости выноса вредных химических производств за пределы этих государств. К примеру, ведущие страны Большой Семёрки (G 7), такие как США, Великобритания, Германия, Франция и другие, выступают владельцами транснациональных корпораций, расположенных на территориях стран «третьего мира». Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП) утвердила международную программу устойчивого развития в качестве ключевого инструмента химической промышленности в вопросах защиты окружающей среды.

В России в связи с бурным развитием химической промышленности вопрос о переносе химических производств не стоит, а упирается в вопросы экологического ужесточения требований к химической промышленности, обусловленные тем, что РФ в лице Российского Союза химиков (представляющего российскую химическую промышленность) с 2007 года вступила в программу ООН «Responsible Care» [4]. Необходимо заметить, что в ведущих вузах нашей страны, подготавливающих специалистов-химиков для различных отраслей промышленности и сфер хозяйственной жизни общества, созданы институты проблем устойчивого развития (например, ИПУР в составе РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва). С момента вступления России в программу ООН, предприятия-участники публикуют отчёты, содержащие информацию об основных показателях (согласно международным стандартам) реализации программы «Responsible Care», о проводимых мероприятиях и данные о снижении рисков вредного экологического воздействия химических производств. Агрегированные показатели представляются на международных конференциях и используются для KPI-бенчмарка при анализе сравнительных данных с другими странами. Согласно данным сайта <http://www.ruschemunion.ru/> предприятиями-участниками данной программы в России являются: Ассоциация «Центрлак», ОАО «Нижекамскнефтехим», ОАО «Русские краски», ОАО «Сильвинит», ОАО «Щекиноазот», ОАО «Апатит», Группа Компаний «Реахим» и другие. Ниже приведены выдержки из документа [5] (см. таблицу).

Интеграция Российской химической промышленности в международное сообщество через внедрение международных стандартов качества по обеспечению непрерывного прогресса в области охраны труда и экологической безопасности обеспечивает рост конкурентоспособности предприятий, увеличивает стоимость бизнеса, а также повышает уровень привлекательности в глазах инвесторов и общественности.

План проведения мероприятий Российского Союза химиков

Список литературы

Мероприятие	Сроки проведения
Мониторинг и оценка влияния экспортно-импортных пошлин на материалы, продукцию, сырье и оборудование химической промышленности.	27.02.2013
Участие химического бизнес сообщества в развитии катализаторного производства для химической и нефтехимической промышленности России.	19.03.2013
Нормирование труда вспомогательного персонала химического комплекса. Производство и применение противогололедных препаратов.	I квартал 2013 года
Заседание совета РСХ «Кластерное развитие, выполнение «Плана развития газо- и нефтехимии России до 2030 г.».	15.04.2013
Обсуждение технического регламента химической безопасности Таможенного Союза.	III квартал 2013 года
Концепция ФЦП по химической и биологической безопасности. Выполнение решений Комиссии по развитию хлорного пр-ва. Конверсия ртутных производств.	IV квартал 2013 года
Вопросы обеспечения промышленной безопасности. Управление отходами.	IV квартал 2013 года

1. Колесников С.Н. Управление качеством и ИСО 9000 [Электронный ресурс]. URL: <http://citforum.ru/cfin/articles/iso9000.shtml>
2. Библиотека управления [Электронный ресурс]. URL: // [www.cfin.ru/management/iso9000](http://www.cfin.ru/management/iso9000).
3. Лимарев П.В., Лимарева Ю.А. TQM как метод оптимизации взаимодействия бизнес-процессов снижения издержек в производстве и реализации печатного СМИ // Экономические, гуманитарные и правовые исследования: сб. науч. тр./ под ред. Н.Р. Балынской. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. С. 64-66.
4. Кукушкин И.Г., Ткачёва Д.В. Социальная ответственность химических производств: Российский опыт [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nkom-nn.ru>.
5. План мероприятий российского союза химиков на 2013 год [Электронный ресурс]. URL: [http://www.ruschemunion.ru/upload/plan\\_2013.pdf](http://www.ruschemunion.ru/upload/plan_2013.pdf).

#### Сведения об авторах

**Лимарева Юлия Анатольевна** – канд. пед. наук, доц. института экономики и управления ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: [lavrenty\\_p@mail.ru](mailto:lavrenty_p@mail.ru).

**Тахтина Арина Вячеславовна** – студентка гр. ТСМа-13 факультета стандартизации, химии и биотехнологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: [tatyana20021968@mail.ru](mailto:tatyana20021968@mail.ru).

**Лимарев Илья Павлович** – студент гр. А-12 ВХК РАН РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва. E-mail: [Limarev.1995@mail.ru](mailto:Limarev.1995@mail.ru).



УДК 502.1

Боброва О.Б., Гумерова Л.Ш., Медведева Е.С.

## СУБЪЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА ЗДОРОВЬЯ И СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ЖИТЕЛЯМИ г. МАГНИТОГОРСКА

**Аннотация.** Представлены данные показателей заболеваемости населения г. Магнитогорска, Рассмотрены анкеты студентов и рабочих промышленного предприятия. Проанализированы такие вопросы, как оценка состояния собственного здоровья; влияние качества питьевой воды, атмосферного воздуха, почвы; действие наследственности, условий труда; а также оценка состояния окружающей среды города.

**Ключевые слова:** компоненты окружающей среды, здоровье, население, заболеваемость.

Иррациональное развитие ноосферы среды и деятельности человека в настоящее время привело к тому, что стремительно изменяются не только физические, химические, биологические, но и другие ее свойства. Все это усугубляет неоднородность биосферы, приводит к формированию антропобиогеохимических зон и провинций. Ответные реакции организма человека на то или иное экологическое неблагополучие проявляются как заболевания (микрореле-

ментозы, аллергические заболевания, злокачественные новообразования, сердечно-сосудистая патология и др.). В настоящее время латентный период заболеваний в основном остался позади, и состояние здоровья человека фактически отражает состояние экосистемы в целом [1].

За последнее десятилетие в г. Магнитогорске сохраняется негативная тенденция в динамике показателей здоровья детей, подростков и показателей ре-

продуктивного здоровья. Достоверная связь названных показателей здоровья с воздействием техногенных, в т.ч. производственных, факторов в городах с развитой химической, металлургической промышленностью подчеркивалась во многих медицинских работах [2].

Кроме того эксперты Всемирной организации здравоохранения 20% всех болезней относят к экологически обусловленным.

Техногенная нагрузка на население естественно изменяет иммунитет как у детей, так и у взрослых. Данные исследований иммунологической реактивности у практически здоровых детей показали чрезвычайно низкие показатели иммунитета, которые ухудшаются в зависимости от длительности проживания в экологически неблагоприятном районе. Результаты анализа заболеваемости по обращаемости детского и подросткового населения позволяют сделать прогноз, что в ближайшее десятилетие состояние здоровья населения трудоспособного возраста будет характеризоваться накоплением хронической патологии по классу болезней органов дыхания, пищеварения, костно-мышечной системы, глаза и его придаточного аппарата, а также болезней мочеполовой системы, что необходимо учитывать при планировании мероприятий по профилактике заболеваний и укреплению здоровья работающего населения [2].

Структура заболеваемости взрослого населения г. Магнитогорска: болезни органов дыхания – 19%; болезни системы кровообращения – 11,6%; болезни нервной системы, глаза, уха – 10,1%; травмы, отравления – 8,2%; некоторые инфекционные и паразитарные заболевания – 7,9% [2].

Таким образом, доминирующей патологией среди всех групп населения является заболеваемость органов дыхания, что указывает на существенную роль загрязнения атмосферного воздуха в развитии различных нарушений дыхательной системы.

Приведенные цифры в сравнении с данными по Российской Федерации показали особенности в распространности заболеваний среди взрослого населения г. Магнитогорска. Так, в РФ первое место занимают болезни системы кровообращения, а в городе – болезни органов дыхания.

Представленные данные говорят о том, что в условиях промышленных городов необходимо повышать качество жизни, прежде всего категории трудоспособного населения, создающего экономику города и страны.

Для субъективной оценки здоровья и состояния окружающей среды нами были опрошены работники промышленного предприятия и другая социальная группа (студенты) для выявления закономерностей.

Оценка состояния здоровья по 5-балльной шкале (где 5 – абсолютно здоровый, а 1 – не здоровый) анкетированных показала, что в основном состояние здоровья оценивается на 4 балла из 5 (рис. 1).

Опрос о влиянии качества питьевой воды по 5-балльной шкале (где 5 – влияет, а 0 – отсутствие фактора) обнаружил, что работники предприятия выделяют большее значение этого фактора на влияние состояния здоровья, чем студенты (рис. 2).

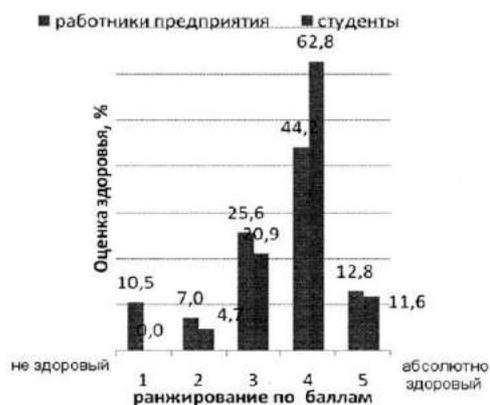


Рис. 1. Оценка состояния собственного здоровья

Субъективная оценка действия атмосферного воздуха показала практически одинаковые значения в разных исследуемых группах, что показывает большее влияние этого фактора на состояние здоровья (см. рис. 2).

Исследование влияния загрязнения почвы на качество получаемых продуктов питания по 5-балльной шкале выявило, что работники предприятия считают, что этот фактор влияет на состояние здоровья в ранжировании по баллам в большей степени.

Субъективная оценка влияния условий труда и наследственности на состояние здоровья также показала, что работники предприятия выделяют большее значение этих факторов на состояние здоровья, чем студенты (см. рис. 2).

Также в анкете для самооценки здоровья были следующие вопросы: Как часто посещаете бесплатные и платные медицинские учреждения?; Регулярно ли Вы занимаетесь спортом?; Есть ли у Вас вредные привычки, влияющие на Ваше здоровье? Ответы на эти вопросы выявили закономерность с общей оценкой собственного здоровья в разных исследуемых группах.

Субъективная оценка состояния окружающей среды города по 5-балльной шкале (где 5 – отличное, а 1 – неудовлетворительное) показала неудовлетворенность качеством *окружающей* среды города работниками промышленного предприятия (рис. 3).

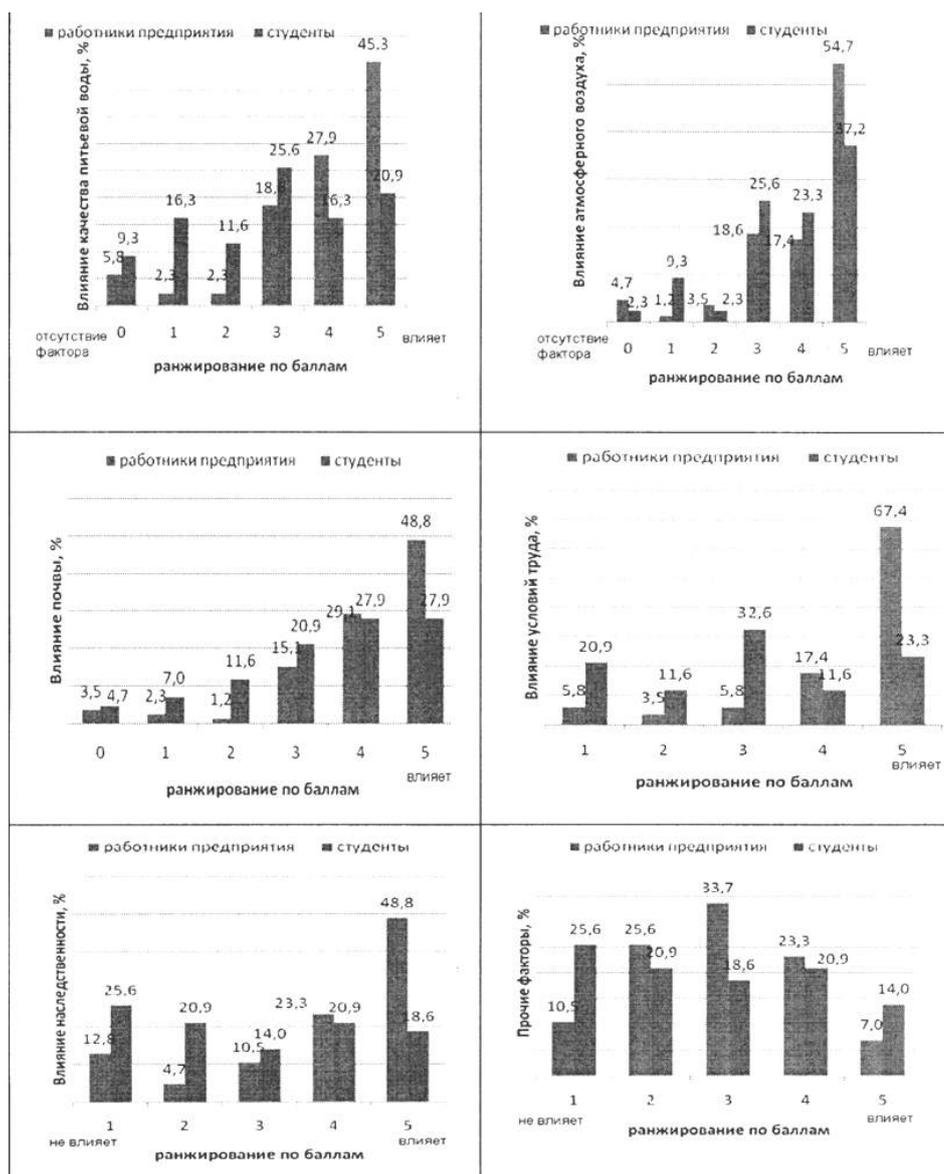


Рис. 2. Субъективная оценка влияния компонентов окружающей среды и других факторов на состояние здоровья



Рис. 3. Оценка состояния окружающей среды города

Таким образом, субъективная оценка показала влияние компонентов окружающей среды на состояние здоровья разных групп населения, что создает предпосылки для дальнейшего изучения рассматриваемого вопроса, с целью поиска научно обоснованных возможностей повышения устойчивости населения крупных промышленных центров к техносферным факторам.

### Список литературы

1. Влияние шлаковых отвалов на экосистемы Южно-го урала / Черчинцев В.Д., Кошкина В.С., Антипанова Н.А., Прошкина О.Б. // Экология и промышленность России. 2010. №2. С. 52-54.

2. Кошкина В.С. Экология и здоровье населения крупного промышленного центра черной металлургии. Магнитогорск: МаГУ, 2004. 204 с.

**Сведения об авторах**

**Боброва Ольга Борисовна** – ст. преп. факультета стандартизации, химии и биотехнологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Гумерова Лилия Шафкатовна** – студентка факультета стандартизации, химии и биотехнологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Медведева Екатерина Сергеевна** – студентка факультета стандартизации, химии и биотехнологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».



УДК 669.162.266.446:669.162.252.46

Селиванова Е.С., Боброва З.М.

**МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ СОЕДИНЕНИЙ СЕРЫ В АТМОСФЕРУ ПРИ ГРАНУЛЯЦИИ ДОМЕННОГО ШЛАКА**

**Аннотация.** Рассмотрены методы снижения загрязнения атмосферы соединениями серы при грануляции доменного шлака. Известно, что при мокрой грануляции доменного шлака выделяется большое количество серосодержащих газов. Решение данной проблемы позволяет сэкономить денежные ресурсы предприятия, а также улучшить воздушный бассейн города.

**Ключевые слова:** ОАО «ММК», доменный шлак, гранулированный шлак, мокрая грануляция, загрязнение окружающей среды.

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 Mo=(CaO+MgO)/(SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,05-0,09	0,60-0,90	1,00-1,10
Модуль активности Ma=Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub>	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 доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цементов».

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 способа грануляции: мокрый 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].

Основным недостатком 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 домы в него в качестве добавок подают различные железосодержащие отходы металлургического 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.

#### Сведения об авторах

**Селиванова Екатерина Сергеевна** – студентка факультета стандартизации, химии и биотехнологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Боброва Залия Маратовна** – канд. техн. наук, доц. факультета стандартизации, химии и биотехнологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 29-84-88.



УДК 349.415

Боброва З.М., Ильина О.Ю., Зуева Т.Ю.

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОПРОСОВ ОХРАНЫ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ И НЕДР

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы организации системы управления природопользованием, виды воздействия на земельные ресурсы и недра, классификация земель по целевому назначению. Приведены структура и полномочия государственных органов, обеспечивающих выполнение требований существующего законодательства, в том числе в сфере обращения с отходами производства и потребления; объекты охраны окружающей среды в соответствии с Законом «Об охране окружающей среды».

**Ключевые слова:** управление охраной земельных ресурсов и недр; законодательство в сфере природопользования; отходы производства и потребления.

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.

#### Список литературы

1. Дворкин Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности: учебно-справочное пособие. Ростов н/Д.: Изд-во 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., Коротаев А.С. и др.; Открытое акционерное общество «Новолипецкий металлургический комбинат». № 2002103708/02; заявл. 15.02.2002; опубл. 27.10.2003, Бюл. № 32. 5 с.

В городе 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;
- осуществление международного сотрудничества 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.

### Список литературы

1. Табаксблат Л.С. Основы почвоведения и геохимии 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.П. Сибай: Изд-во ГУП РБ «СГТ», 2012. С.43-48.

**Сведения об авторах**

**Боброва Залия Маратовна** – канд. техн. наук, доц. факультета стандартизации, химии и биотехнологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 29-84-88.

**Ильина Оксана Юрьевна** - канд. техн. наук, доц. факультета стандартизации, химии и биотехнологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Зуева Татьяна Юрьевна** – ст. преп. факультета стандартизации, химии и биотехнологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».



УДК 661.172.2, 543.427.4

Шабалин Е.И., Богачева И.Ю., Шабалина Ю.В.

## **ВЫХОДНОЙ ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЬ ПРОДУКЦИИ ООО «КОМПАС-МГТУ» НА БАЗЕ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО ЭНЕРГОДИСПЕРСИОННОГО СПЕКТРОМЕТРА ARL QUANT'X**

**Аннотация.** В статье рассмотрена возможность использования рентгенофлуоресцентного спектрометра для выходного контроля полифосфатной композиции.

**Ключевые слова:** накипь, коррозия, фосфатное стекло, рентгенофлуоресцентный анализ.

Малое инновационное предприятие ООО «Компас-МГТУ» было образовано в ноябре 2011 года по инициативе преподавателей кафедры физической химии и химических технологий. Учредителем Общества является ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Основной целью предприятия является производство полифосфатной композиции, получившей название «Астра». Композиция «Астра» представляет собой прозрачное, бесцветное (или слегка окрашенное) твердое вещество, являющееся фосфатным стеклом. Продукт не имеет запаха и экологически безопасен. Основным предназначением композита является обработка технической воды, которая происходит путем омыwania водой продукта в фильтрах, шлюзах и т.п. При использовании такой воды в бытовых или промышленных нагревательных установках, в стиральных и посудомоечных машинах и т.п. примерно в 5–10 раз уменьшается количество накипи на поверхности нагревательных элементов. Кроме того, примерно в 3–4 раза уменьшается коррозионная активность воды.

При производстве любой химической продукции обязателен контроль химического состава и свойств получаемого продукта. В нашем случае требования СанПина к качеству воды нормируют в первую очередь количество вносимых в воду при растворении композиции фосфатов, а также других микроэлементов.

Это количество определяется скоростью растворения композиции и процентным содержанием в ней оксида фосфора  $P_2O_5$ . Исследования показывают, что скорость растворения зависит от содержания в «Астре» оксидов кальция СаО. Следовательно, выходной контроль на предприятии должен быть настроен на определение процентного содержания в готовом продукте оксидов фосфора и кальция.

Анализ композиции на содержание СаО достаточно прост и может быть сделан путем титрования в течение нескольких десятков минут. Однако наличие фосфатов несколько осложняет этот процесс и требует использования дополнительных химических реактивов. Определение же  $P_2O_5$  химическими методами и вовсе оказывается достаточно сложным трудоёмким процессом и растягивается на 2 дня. В связи с этим была предпринята попытка использования для химического анализа продукта рентгенофлуоресцентного энергодисперсионного спектрометра ARL QUANT'X.

Для этой цели сотрудниками кафедры ФХиХТ химическими методами были определены процентные содержания оксидов фосфора и кальция в образцах из различных партий готового продукта. Эти образцы были взяты за эталонные, по которым построены градуировочные кривые и создана методика количественного анализа. Полученные кривые показаны на рис. 1 и 2.

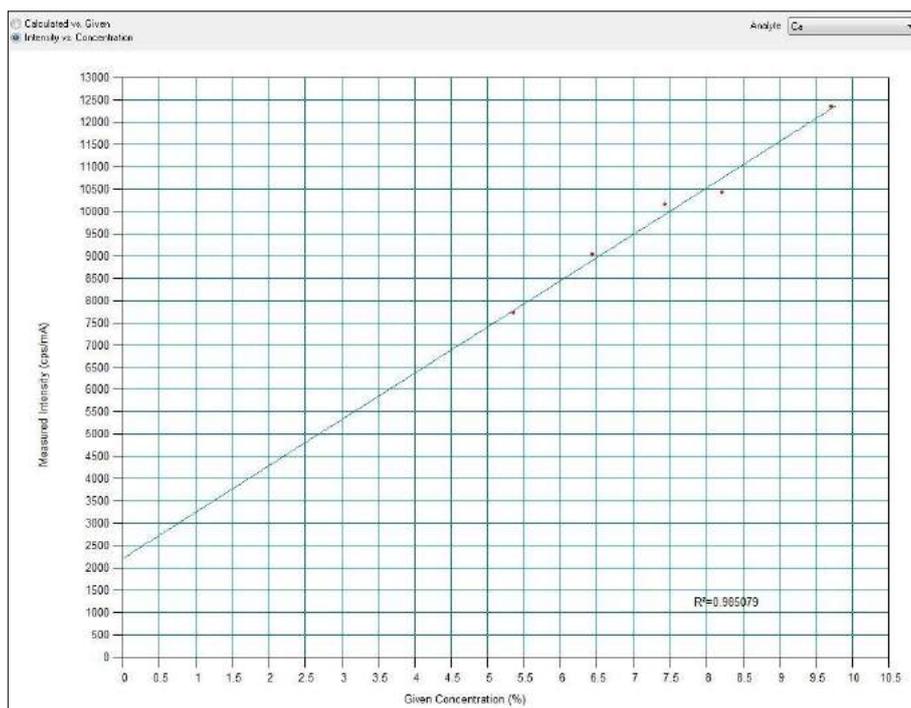


Рис. 1. Зависимость интенсивности пика кальция от его концентрации в образце

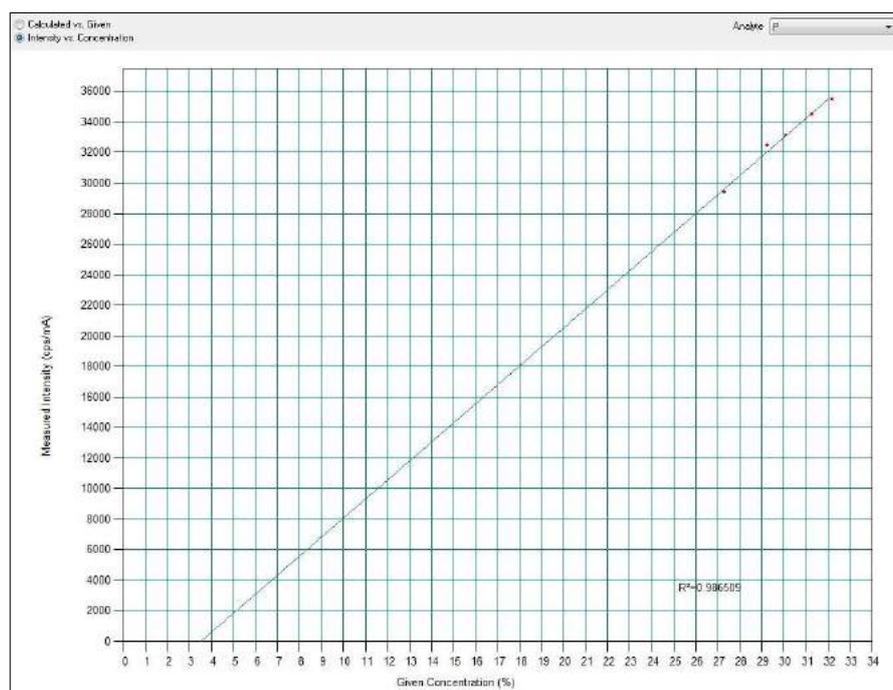


Рис. 2. Зависимость интенсивности пика фосфора от его концентрации в образце

Из рисунков видно, что между интенсивностью пиков элементов и их заданной концентрацией в образцах линейная зависимость. Причем среднеквадратичное отклонение экспериментальных значений от прямой регрессии составляет менее 2%, что лежит в пределах ошибки измерения спектрометра. При этом анализ одного образца на содержание CaO и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> по

созданной методике занимает не более 15–20 мин, включая пробоподготовку. Это является вполне приемлемым для выходного контроля. Данная методика была опробована на образцах из других партий готового продукта, а полученные результаты сравнивались с химическими анализами. Во всех случаях различие между получаемыми значениями концентраций

лежало в пределах погрешности измерений. Кроме того, подобный анализ образцов не требует расхода химических реагентов.

Таким образом, созданная на базе энергодисперсионного рентгеновского спектрометра ARL QUANT'X методика определения химического состава

ва полифосфатной композиции может использоваться для выходного экспресс-контроля продукции ООО «КомПас-МГТУ».

#### **Сведения об авторах**

**Шабалин Евгений Иванович** – директор ООО «КомПас-МГТУ», ст. преп. института энергетики и автоматизированных систем ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Богачева Ирина Юрьевна** – ст. преп. института энергетики и автоматизированных систем ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Шабалина Юлия Вячеславовна** – ассистент института энергетики и автоматизированных систем ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».



# РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

УДК 669.334.13

Калугина Н.Л., Варламова И.А., Калугин Д.А., Чурляева Н.А.

## ОСОБЕННОСТИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ОБОРОТНЫХ РАСТВОРОВ ЗОЛОТОИЗВЛЕКАТЕЛЬНОГО УЧАСТКА КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

**Аннотация.** Рассмотрены особенности кондиционирования оборотных растворов золотоизвлекательного участка кучного выщелачивания. Выявлены эффективные способы снижения концентрации ионов тяжелых металлов с предварительным разрушением их цианидных комплексов. Установлена оптимальная область рН осуществления процесса и возможность использования осадка гидроксида железа (III) в качестве коллектора образующихся в кислых растворах гидроксидов меди (II), железа (II) и других элементов. Выбран и модифицирован способ кондиционирования цианидсодержащих оборотных растворов выщелачивания благородных металлов из руд.

**Ключевые слова:** оборотные растворы золотоизвлекательного участка, кондиционирование, цианидные комплексы меди (I), железа (II) и железа (III).

Применение оборотных вод на золотоизвлекательных участках возможно, если обеспечено получение таких технологических показателей извлечения золота, которые не уступают достигаемым при использовании свежей воды. Следовательно, необходимо постоянно проводить кондиционирование оборотных вод, т.е. использовать их очистку от вредных примесей, корректировку концентрации отдельных компонентов, так как одним из недостатков кучного выщелачивания золота является сложность обработки оборотных технологических растворов [1].

С целью выявления способов снижения содержания вредных примесей (а именно катионов меди (II), железа и хлорид-ионов) в технологических растворах участка кучного выщелачивания Хайбуллинского рудника сделан литературный обзор и проведен патентный поиск современных методов обессоливания техногенных растворов аналогичного состава, а также выполнены экспериментальные исследования.

Установлено, что для снижения концентрации всех ионов, находящихся в технологических растворах, применяются термические методы (перегонка, дистилляция, нагревание воды сверх критической температуры 350 °С, замораживание), электродиализ, мембранные методы (обратный осмос, нанофильтрация), а также ионный обмен и сорбция. Если есть возможность, используют опреснение, включающее разбавление засоленных техногенных вод пресной водой.

Для удаления из технологических растворов ионов тяжелых металлов используют следующие способы: сорбция, гальванохимическая очистка, введение электролитического гипохлорита натрия, получаемого на месте потребления из технологических растворов, содержащих хлориды. Наиболее перспективными для снижения концентрации ионов меди и железа являются многоуровневые технологические схемы, позволяющие сочетать электролиз с сорбционными или

мембранными процессами, электрохимические способы с цементацией и др. [1].

Особенностью очистки оборотных вод участков кучного цианидного выщелачивания является то, что растворенное железо и медь представлены в них цианидными комплексами состава  $[Fe(CN)_6]^{4-}$  и  $[Fe(CN)_6]^{3-}$ ,  $[Cu(CN)_2]^-$ ,  $[Cu(CN)_3]^{2-}$ ,  $[Cu(CN)_4]^{3-}$ . Для количественной характеристики устойчивости внутренней сферы комплексного соединения используют константу нестойкости комплекса ( $K_n$ ). Чем меньше значение  $K_n$ , тем более устойчивой является внутренняя сфера комплексного соединения, тем меньше активная концентрация ионов металла в водном растворе. Значения констант нестойкости цианидных комплексов  $[Fe(CN)_6]^{4-}$ ,  $[Fe(CN)_6]^{3-}$ ,  $[Cu(CN)_4]^{3-}$ ,  $[Cu(CN)_3]^{2-}$ ,  $[Cu(CN)_2]^-$  в щелочных растворах соответственно равны  $1 \cdot 10^{-35}$ ,  $1 \cdot 10^{-42}$ ,  $5 \cdot 10^{-31}$ ,  $2,6 \cdot 10^{-29}$ ,  $1 \cdot 10^{-24}$  [3], т.е. данные комплексные ионы являются прочными, особенно устойчивы цианидные комплексы железа.

Значения  $K_n$  позволяют прогнозировать направление лигандообменных процессов. В кислых водных растворах значения  $K_n$  цианидных комплексов увеличиваются, их прочность снижается, происходит замена  $CN^-$ -лигандов во внутренней сфере на молекулы  $H_2O$ , и образуются аквакомплексы  $[Fe(H_2O)_6]^{3+}$ ,  $[Fe(H_2O)_6]^{2+}$ ,  $[Cu(H_2O)_2]^+$ . Таким образом, при подкислении технологических растворов происходит разрушение цианидных комплексов. Установлено, что цианидные комплексы меди и железа лабильны (т.е. в течение 1 минуты полностью обмениваются лигандами при комнатной температуре и концентрации комплекс-

ных ионов 0,1 моль/л [5]).

Исходя из вышесказанного, разрушению цианидных комплексов способствует кислотная обработка оборотных растворов. Экспериментально установлено, что кислотную обработку необходимо продолжать до оптимального значения  $\text{pH} \sim 2$ . Однако выделяющиеся при разрушении цианидных комплексов ионы  $\text{CN}^-$  в кислом растворе образуют токсичную синильную кислоту  $\text{HCN}$ . Считается, что область  $\text{pH} < 8,6$  – это область термодинамической устойчивости цианистого водорода, наиболее опасная область вследствие выделения  $\text{HCN}$  в окружающую атмосферу. Поэтому подкисление технологических растворов должно сопровождаться отгонкой образовавшейся синильной кислоты, ее улавливанием и поглощением раствором едкого натра. При подкислении растворов происходит также связывание свободных цианидов, находящихся в растворе, в  $\text{HCN}$  с выделением дополнительного количества  $\text{HCN}$ .

Кислотная обработка, разрушение цианидных комплексов, удаление  $\text{HCN}$  и регенерация цианида натрия – это первый этап кондиционирования оборотных растворов. Далее необходимо извлечение из воды металлов их осаждением при нейтрализации. Скорость процесса осаждения ионов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  зависит от исходного значения  $\text{pH}$  раствора [1]. Произведение растворимости гидроксида железа (III) равно  $3,8 \cdot 10^{-38}$  (см. таблицу), поэтому, как установлено экспериментально и подтверждено теоретическими расчетами [2], уже при  $\text{pH} 3,60$  степень его осаждения составляет не менее 90,0 %. Рассчитано, что гидроксиды меди (II), железа (II), цинка и других элементов осаждаются в более щелочной области, так как имеют более высокие значения произведения растворимости (см. таблицу).

Рассчитанные значения  $\text{pH}$  начала осаждения ионов в технологических растворах

Ионы	Произведение растворимости гидроксида [3]	$\text{pH}$ начала осаждения
$\text{Cu}^{2+}$	$2,2 \cdot 10^{-20}$	5,27
$\text{Fe}^{3+}$	$3,8 \cdot 10^{-38}$	2,10
$\text{Fe}^{2+}$	$1 \cdot 10^{-15}$	7,37

Образующийся гидроксид железа (III) представляет собой аморфный осадок с большой активной поверхностью. Ионная природа, неравномерность распределения зарядов по поверхности из-за наличия поверхностных дефектов обуславливают возможность его использования в качестве коллектора (естественного сорбента), соосаждающего гидроксиды меди (II) и других элементов [2]. Поэтому в процессе кондиционирования оборотных растворов железо (II) целесообразно переводить в железо (III). Скорость окисления железа (II) зависит от значения  $\text{pH}$ , присутствия окислителей и органических веществ. Важно отме-

тить, что с повышением  $\text{pH}$  возрастает как скорость окисления железа (II) в железо (III), так и скорость коагуляции  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , следовательно, удаление железа из оборотных растворов на втором этапе кондиционирования целесообразно осуществлять при  $\text{pH} \sim 7$  [2]. Кроме того, скорость окисления кислородом ионов  $\text{Fe}^{2+}$  значительно возрастает при наличии в обрабатываемой воде катализаторов – ионов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , а также при контакте ее с оксидами марганца или ранее выпавшим  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ .

Одним из перспективных вариантов окисления железа (II) и обезжелезивания воды является насыщение ее воздухом в напорных резервуарах со струйной аэрацией (эффект пре-аэрации, описанный А.Д. Раимбековым [4]). Работа таких резервуаров основана на взаимодействии струй насыщаемой жидкости (с вовлекаемым ими воздухом) с поверхностью слоя воды внутри напорного резервуара. Таким образом, количество двухвалентного железа в оборотных водах уменьшается, минимизируя образование цианидных комплексов железа и, следовательно, уменьшая их содержание, одновременно снижая общее потребление цианида.

Усовершенствовав и модифицировав данный способ кондиционирования оборотных растворов цианидного выщелачивания благородных металлов из руд, мы использовали его в дальнейших экспериментальных исследованиях по подбору оптимальных режимов выделения металлов и при разработке промышленной установки. Его основные стадии:

1. Подкисление оборотных растворов до  $\text{pH} \sim 2$  с образованием  $\text{HCN}$ .
2. Отдувка образовавшегося  $\text{HCN}$  воздухом.
3. Поглощение  $\text{HCN}$  раствором щелочи с целью регенерации цианида.
4. Нейтрализация оборотных растворов до  $\text{pH} \sim 7$ .
5. Насыщение оборотной воды воздухом в напорных резервуарах со струйной аэрацией.
6. Удаление образовавшегося гидроксида железа  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  с соосажденными на нем гидроксидами других металлов.

#### Список литературы

1. Цементационное извлечение меди из растворов и различных материалов / Калугина Н.Л., Варламова И.А., Калугин Д.А., Варламова Н.А. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 71-й межрегион. науч.-техн. конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. Т. 1. С. 323-326.
2. Медяник Н.Л., Калугина Н.Л., Варламова И.А. Изучение возможности селективного извлечения меди методом известкования из сточных вод горных предприятий гидрометаллургического комплекса // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2010. Т. 42. № 2. С. 188-193.

3. Рабинович В.А., Хавин З.Я. Краткий химический справочник. М.: Химия, 1993. 376 с.
4. Раимбеков А.Д. Нововведение в технологический процесс в 2002 году. Эффект пре-аэрации (СП «Кумтор Голд Компани») // Исследование геоэкологических особенностей взаимодействия техногенных систем [Электронный ресурс]. URL: [www.minproc.ru/thes/2003/section8/thes2003sVIII-3101.doc](http://www.minproc.ru/thes/2003/section8/thes2003sVIII-3101.doc).
5. Исследование состава и свойств цианидных комплексов металлов / Сафонов А.В., Кенжалиев Б.К., Абсалимов Х.К., Салахова Р.Х. // КИМС. 2003. № 5. С. 33-38.

### Сведения об авторах

**Калугина Наталья Леонидовна** – канд. пед. наук, доц. факультета стандартизации, химии и биотехнологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519)298533. E-mail: nkalugina@gmail.com.

**Варламова Ирина Александровна** – канд. пед. наук, доц. факультета стандартизации, химии и биотехнологии, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519)298533. E-mail: Varlamova156@gmail.com.

**Калугин Дмитрий Александрович** – инженер отдела обработки металлов давлением и математического моделирования ОАО НПО «ЦНИИТМАШ». E-mail: kalugin.dmitry@gmail.com.

**Чурляева Наталья Андреевна** – инженер патентно-информационного отдела ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: VarlamovaNatasha@gmail.com.



УДК 696.42:621.3.035.462

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

## ЗАЩИТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВОДООХЛАЖДАЮЩИХ СИСТЕМ ОТ КОРРОЗИИ И СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ

**Аннотация.** В статье рассмотрена проблема защиты элементов водоохлаждающих систем от солейотложений (накипи) и коррозии. Для решения этой проблемы авторами разработан состав препарата на основе фосфатной композиции «Комфос», который обеспечивает защиту металлических поверхностей от коррозии и препятствует выделению из охлаждающей воды солейотложений (накипи), что приводит к повышению срока службы элементов систем охлаждения индукторов, форсунок охлаждающей системы МНЛЗ.

**Ключевые слова:** солейотложения (накипь), коррозия, фосфатная композиция, жесткость воды, водооборотные охлаждающие системы.

При эксплуатации систем оборотного водоснабжения на производстве чрезвычайно актуальной является проблема коррозии металлических поверхностей и выделения солейотложений (накипи) из воды. Образование слоя солейотложений (накипи) на поверхностях водоохлаждающих систем приводит к повышению расхода топлива, нарушению технологического режима и выходу из строя теплообменного оборудования за счет:

- уменьшения коэффициента теплоотдачи водонагревательных поверхностей;
- значительного повреждения металла в результате локальных перегревов и образования «свищей»;
- уменьшения пропускной способности водоподающих и водоотводящих систем.

Для предотвращения солейотложений (накипи) на производстве широко применяется реагентная обработка для умягчения воды. Общим недостатком такой обработки является, во-первых, необходимость стро-

гого контроля за дозировкой реагентов; во вторых, следствием такой обработки является развитие коррозии, что требует дополнительного применения ингибиторов.

С целью защиты и повышения срока службы элементов водоохлаждающих систем авторами предлагается использовать препарат на основе фосфатной композиции («Комфос») запатентованного состава [1], действие которого было испытано на различных объектах [2–5].

В настоящей работе защитное действие «Комфос» было исследовано в системах охлаждения индукторов кузнечно-прессового цеха ОАО «ММК-МЕТИЗ» и на элементах форсунок охлаждающей системы и стальной части кристаллизатора МНЛЗ.

Наиболее «узким местом» систем охлаждения индукторов являются медные трубки, обвивающие их в виде змеевика. Продукты коррозии и накипь забивают эти трубки, что приводит к повышению их температуры вплоть до механического разрушения мед-

ных индукторов.

В практике непрерывной разливки стали в зоне вторичного охлаждения МНЛЗ существует проблема забивания форсунок, подающих на поверхность слитка распыленную воду, солями жесткости, что приводит к искажению температурного поля заготовки.

Защитное действие препарата «Комфос» обусловлено образованием на поверхности охлаждающих систем тонкой, эластичной фосфатной пленки с высокой степенью сплошности, обладающей высокими прочностными и адгезионными свойствами. Кроме того, при введении препарата в воду, содержащую ионы кальция, магния и других металлов, длинноцепочечные фосфат-анионы препятствуют слипанию микрочастиц солей жесткости в более крупные кристаллы, что предотвращает осаждение их на поверхности в виде накипи.

Анализ состояния оборудования в кузнечно-прессовом цехе показал, что частота выхода из строя индукторов в значительной степени зависит от состава охлаждающей воды. Исследования проводились на индукторах типа А-316, МВ-53, средняя частота выхода из строя которых составляла три раза в месяц.

Визуальный анализ разрушенных звеньев индуктора показал, что на внутренней поверхности змеевика имеются отложения серо-белого цвета, а на отдельных участках видны блестящие капли расплавленной меди.

Снятые с поверхности отложения были проанализированы на содержание CaO+MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuO, Cu. Результаты анализа приведены в табл. 1.

Таблица 1  
Результаты химического анализа отложений с внутренних поверхностей медного змеевика индуктора

Фракции образца	Компоненты, мас. %			
	CaO+MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO	Cu, металлический
Растворившиеся в соляной кислоте фракции	46,8	0	3,9	-
Нерастворившиеся в соляной кислоте фракции	-	-	-	48,7

Из данных, представленных в табл. 1, видно, что в отложениях, растворимых в кислоте, содержатся, главным образом, соли жесткости, которые забивают охлаждающую систему и затрудняют поддержание оптимального теплового режима.

Вода, поступающая в охлаждающую систему индукторов, была проанализирована по восьми показателям. Результаты анализа представлены в табл. 2.

Пожарно-питьевая вода охлаждающей системы индукторов имеет среднюю жесткость, обусловленную, в основном, присутствием в ней солей кальция.

Для проведения эксперимента по обработке воды препаратом «Комфос» были выбраны два узла охлаждения индукторов (табл. 3).

Таблица 2

Результаты анализа пожарно-питьевой воды, поступающей в охлаждающую систему индукторов

Показатели качества воды	Содержание компонентов	
	Исходная вода (прямая)	Обратная вода
рН	7,5	7,5
Жесткость общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	4,7	4,7
Жесткость кальциевая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	4,0	4,0
Жесткость магниевая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	0,7	0,7
Жесткость карбонатная, мг-экв/дм <sup>3</sup>	2,9	2,8
Окисляемость, мг/дм <sup>3</sup>	2,95	2,45
Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	28	26
Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>	79	80

Таблица 3

Характеристика систем охлаждения

Номер охлаждающей системы	Агрегаты	Исходная вода	Объем оборотной воды в системе, м <sup>3</sup>
1	Индукторы МВ-53	Пожарно-питьевая	2,0
2	Индукторы А-316	Пожарно-питьевая	60,0

Эффективность применения препарата «Комфос» оценивали по частоте выхода из строя индукторов МВ-53 и А-316 до начала эксперимента и после введения препарата по данным из цехового журнала регистрации индукторов, поступающих на ремонт.

Во время проведения эксперимента периодически проводился анализ воды, обработанной препаратом «Комфос», из систем охлаждения индукторов по девяти показателям. Отмечено, что по восьми показателям состав воды остается практически постоянным. Содержание в воде препарата «Комфос» приведено в табл. 4.

Таблица 4  
Содержание препарата «Комфос» в образцах оборотной воды

Номер объекта	Наименование объекта	Содержание в воде препарата, мг/дм <sup>3</sup>		
		октябрь	ноябрь	декабрь
1	Система охлаждения индукторов МВ-53	1,0*	1,0*	4,1
2	Система охлаждения индукторов А-316	5,1	4,8	5,0

\* Содержание «Комфос» в воде объекта №1 было заметно ниже в течение первых двух месяцев из-за дополнительного расхода препарата на реакции с компонентами шлама, находившегося на дне бака-накопителя.

Эксперимент проводился в течение трех месяцев. Результаты представлены в табл. 5.

Таблица 5

Срок службы индукторов

Вид индуктора	Среднемесячное количество замененных индукторов		Увеличение срока службы, раз
	Без обработки	С обработкой «Комфос»	
МВ-53	2,7	1,5	1,8
А-316	1,5	0,5	3,0

Введение препарата «Комфос» в охлаждающую оборотную воду позволило увеличить срок службы исследованных индукторов в 1,8–3 раза.

Действие «Комфос» направлено не только на защиту поверхностей от новых солеотложений, но и на устранение ранее образовавшихся отложений.

Возможность применения препарата «Комфос» для очистки солеотложений была исследована на примере форсунок охлаждающей системы и стальной части кристаллизатора МНЛЗ.

Предварительно были исследованы солеотложения с форсунок охлаждающей системы МНЛЗ (№1) и стальной части кристаллизаторов МНЛЗ (№№2-3) на содержание СаО и Fe. Результаты анализа солеотложений приведены в табл. 6.

Таблица 6  
Результаты анализа солеотложений

Номер образца	Содержание компонентов, %	
	СаО	Fe
1	57	10,5
2	3,4	42
3	38,6	23

Высокое содержание железа в отложениях свидетельствует о высокой коррозионной активности воды и необходимости ее снижения.

Образцы с солеотложениями №№1-3 поместили в водные растворы с препаратом «Комфос». Основная масса накипи растворилась в течение двух дней. Небольшие скопления твердой накипи на внешней поверхности и плотная накипь из узких отверстий устраняется только при нагревании.

Действие препарата «Комфос» будет наиболее

#### Сведения об авторах

**Костина Зинаида Ивановна** – канд. техн. наук, доц. факультета стандартизации, химии и биотехнологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519)29-84-25. E-mail: zikostina@mail.ru.

**Крылова Светлана Александровна** – канд. хим. наук, доц. факультета стандартизации, химии и биотехнологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519)29-84-25. E-mail: svkryl@mail.ru.

**Понурко Ирина Витальевна** – канд. техн. наук, доц. факультета стандартизации, химии и биотехнологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519)29-84-25. E-mail: iponurko@mail.ru



эффективно, если его вводить в воду до начала эксплуатации водоохлаждающей системы МНЛЗ, так как образующаяся фосфатная пленка на поверхности предотвращает развитие процессов коррозии и солеотложений.

Таким образом, обработка воды препаратом «Комфос» повышает срок службы элементов охлаждающих систем металлургического и метизного производств за счет снижения агрессивности воды и давления солеотложений (накипи).

#### Список литературы

1. Пат. 2303084Б РФ. Композиция для защиты от коррозии и солеотложений систем водоснабжения и водоотведения / А. Никифоров, З.И. Костина, Г.С. Слободжанкин, С.А. Крылова, В.Ф. Костин, И.В. Понурко. 2007. Бюл. № 20.
2. Увеличение срока службы элементов систем горячего водоснабжения / З.И. Костина, С.А.Крылова, И.В. Понурко и др. // Теория и технология металлургического производства: межвуз. сб. науч. тр. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2005. Вып. 4. С.226-231.
3. Пассивация внутренних поверхностей металлических водоводов / З.И. Костина, В.Ф. Костин, С.А.Крылова, И.В. Понурко // Процессы и оборудование металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. Вып.8. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. С.200-205.
4. Химическая защита элементов водоснабжения от агрессивного воздействия воды / З.И. Костина, В.Ф. Костин, С.А.Крылова, И.В. Понурко // Чистая вода-2009: труды Международной научно-практической конференции / Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. Кемерово, 2009. С. 396-398.
5. Исследование возможности применения ингибитора «Ф» для защиты от коррозии и солеотложений оборудования нефтепродуктообеспечения /З.И. Костина, С.А. Крылова, И.В.Понурко и др. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 69-й межрегион. науч.-техн.конф. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос.техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. Т.1. С.112-114.

УДК 622.78

Запарнюк М.Н., Нешпоренко Е.Г.

## РАЗРАБОТКА ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ ОБЖИГА СИДЕРИТОВОЙ РУДЫ В УСТК

**Аннотация.** В связи с обеднением ресурсов магнетитовых руд возникает проблема дефицита сырья для доменной промышленности. В работе рассматриваются возможные схемы обработки альтернативного сырья, сидеритовой руды, для удовлетворения нужд агломерационного производства путем использования физической энергии кокса в УСТК.

**Ключевые слова:** тепловая схема, теплота кокса, установка сухого тушения кокса, сидеритовая руда, обжиг.

Доля вовлечения альтернативных руд в металлургический комплекс составляет не более 10%. Однако происходит истощение запасов классических магнетитовых руд, что ставит перед металлургическими предприятиями задачу расширения железорудной базы. Например, в Челябинской области находится крупнейшее в России месторождение сидеритовых руд - Бакальское, с примерным объемом запасов руды свыше 1 млрд т. На месторождении действует рудоуправление с годовым объемом добычи до 5 млн т [1].

В настоящее время сидеритовые руды обжигаются по автономной технологии с применением природного газа. Однако в классическом металлургическом комплексе имеются неиспользованные вторичные энергетические ресурсы, например теплота кокса, которая теряется при охлаждении кокса (мокрый и сухой способ). Производство кокса – энергоёмкий процесс (около 150 кг у.т./т кокса). Температура поступающего после коксовой батареи материала достигает 1200°C, которую необходимо уменьшить до уровня, установленного технологическим процессом [1].

При выдаче технологического продукта, имеющего однородный фракционный состав и высокую температуру, физическую теплоту можно передать другому материалу. Например, известняк, подогрев лома, обжиг окатышей, обжиг сидеритовой руды и др. Наибольший эффект энергосбережения даст тот материал, который меньше всего обработан, например термическое обогащение сидеритовой руды (обжиг).

В работе разрабатывается несколько вариантов использования теплоты кокса для обжига сидеритовой руды: 1) смешение обжигаемого материала с коксом и одновременное охлаждение смеси (рис. 1); 2) смешение обжигаемого материала с коксом и одновременное охлаждение смеси с дальнейшим использованием теплоты выделяющихся газов CO<sub>2</sub> (рис. 2). Расчеты проводились в идеальных термодинамических условиях.

За базовый вариант принята технология, применяемая для охлаждения кокса в УТСК. Через загруженный в бункер раскаленный кокс снизу продувают инертный газ N<sub>2</sub>, который нагревается до 800°C и поступает в котел-утилизатор. При охлаждении 1 т кокса вырабатывается около 0,4 т пара средних энергетических параметров. После охлаждения газы при по-

мощи вентилятора нагнетаются в нижнюю часть бункера для повторения цикла [1].

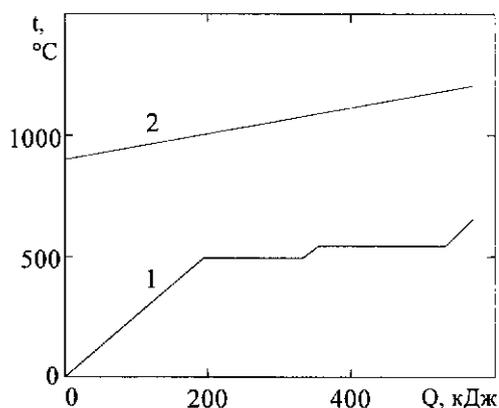


Рис. 1. Температурно-тепловой график обработки сидеритовой руды (вариант 1):  
1 – линия нагрева сидеритовой руды;  
2 – линия охлаждения кокса

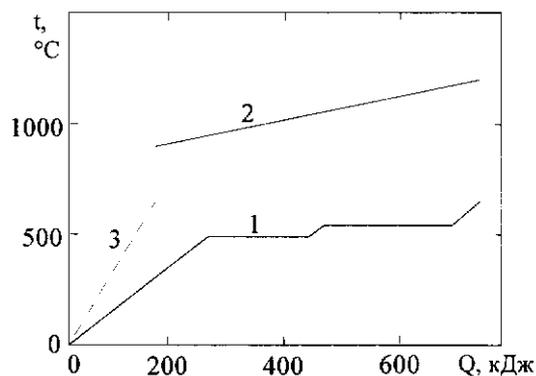


Рис. 2. Температурно-тепловой график обработки сидеритовой руды (вариант 2):  
1 – линия нагрева сидеритовой руды;  
2 – линия охлаждения кокса; 3 – линия охлаждения отходящих газов при регенерации

Первый вариант заключается в подаче в форкамеру УСТК сидеритовой руды и раскаленного кокса в таком массовом соотношении, при котором термическое обогащение руды протекало бы при расчетных

параметрах, а температура кокса снизилась до необходимого уровня. Расчет показал, что одной тонной кокса при его охлаждении с 1200 до 900°C можно обжечь 0,437 т сидеритовой руды. При этом теплопотребление технологического материала составит 569 кДж, а продуктами процесса являются отходящие газы и технологический материал с температурой 650°C.

Второй вариант заключается в предварительном нагреве сидеритовой руды перед её подачей в форкамеру УСТК. В качестве греющего теплоносителя выступает теплота отходящих из УСТК газов, образующихся в процессе декарбонизации технологического материала. В этом случае одной тонной кокса при его охлаждении можно обжечь 0,523 т сидеритовой руды. При этом теплопотребление технологического материала составит 715 кДж.

Использование разработанной регенеративной схемы предварительного подогрева сидеритовой руды позволит увеличить ее массу на 0,097 т, что составит более 18% без дополнительных затрат энергетических ресурсов.

Таким образом, введение обожженных сидеритовых руд в металлургический комплекс позволит расширить их долю с 10% (около 0,180 т на тонну чугуна) до 30% (0,523 т) и обеспечит сырьем, как минимум, металлургические комбинаты Урала.

Для предприятия с годовым объемом около 10 млн т стали в год это означает потенциальную эко-

номию энергии до 1 млн т у.т., что при нижней границе стоимости 2000 руб./т у.т. может дать годовую экономию до 2 млрд руб.

Следовательно, разработка энергоэффективных направлений использования теплоты кокса открывает возможности широкомасштабного энергосбережения в теплотехнологии черной металлургии.

### Список литературы

1. Куперман Л.И., Романовский С.А., Сидельковский Л.Н. Вторичные энергоресурсы и энерготехнологические комплексы в промышленности. К.: Вища школа, 1986. 303 с.
2. Запарнюк М.Н., Нешпоренко Е.Г., Картавец С.В. Интенсивное энергосбережение в системе рудоперерабатывающего предприятия // Энерго- и ресурсосбережение. Энергосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Екатеринбург: УрФУ, 2012. С.76-78.
3. Запарнюк М.Н., Нешпоренко Е.Г. Термодинамический анализ схем движения дымовых газов в процессе обжига сидерита // Энергетики и металлургии настоящего и будущему России: материалы 14-й Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и специалистов / под общ. ред. Е.Б. Агапитова. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. С.149-150.

### Сведения об авторах

**Запарнюк Михаил Николаевич** – студент гр. ЭТБ-10 ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: mixaz@list.ru.

**Нешпоренко Евгений Григорьевич** – доц. института энергетики и автоматизации ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: neshporenkoeg@mail.ru.



## ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО

### *Уважаемые коллеги!*

Приглашаем Вас принять участие в издании научного журнала **«Теория и технология металлургического производства»** (**«Teoriâ i tehnologiâ metallurgiĉeskogo proizvodstva»**) (Аббревиатура: **Teor. tehnol. metall. proizv.**) Периодичность издания – дважды в год.

**Журнал зарегистрирован в Научной электронной библиотеке, включен в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). ISSN 2311-5378. Не забывайте в библиографических ссылках статей указывать свои труды и труды Ваших коллег для повышения индекса научного цитирования и изданий в целом.**

*Журнал включает в себя следующие разделы:*

1. Обогащение и подготовка сырьевых материалов к металлургическому переделу.
2. Металлургия чугуна.
3. Металлургия стали.
4. Электрометаллургия и производство ферросплавов.
5. Литейное производство.
6. Обработка металлов давлением.
7. Металлургическая теплотехника.
8. Металловедение и термическая обработка металлов.
9. Экология и охрана окружающей среды.
10. Ресурсо- и энергосберегающие технологии в черной металлургии.

Для публикации статьи в журнале необходимо **до 10 октября 2014 года** представить **следующие материалы:**

- распечатанный чистовой оригинал статьи (4-8 полных страниц текста формата А4) (ауд. 155, Макаровой И.В.);
- электронную версию статьи на CD-диске или выслать электронной почтой на e-mail: [m.irina1976@mail.ru](mailto:m.irina1976@mail.ru);
- экспертные заключения о возможности опубликования от всех организаций, сотрудниками которых являются авторы статьи.

Авторам, представившим статьи для публикации, будет выслан один экземпляр журнала. Материалы, переданные в журнал, редакционной коллегией не возвращаются.

Статьи должны быть выполнены в текстовом редакторе MS Office Word 2007 и оформлены в соответствии со следующими требованиями:

- формат страницы – А4 (210x297мм), распечатка также делается на бумаге формата А4; отступы: слева, справа и сверху по 18 мм, снизу – 20 мм; нумерация страниц снизу по центру;
  - шрифт основного текста – Arial размера 12 пунктов;
  - межстрочный интервал – одинарный;
  - отступ перед каждым абзацем (красная строка) – 5 знаков (примерно 10 мм);
  - формулы должны быть набраны в тексте, вписывание формул от руки не допускается; размер базового шрифта в формулах – 12 пунктов;
  - горизонтальные страницы допускается оформить отдельно от вертикальных страниц статьи, они должны быть также формата А4;
  - рисунки должны быть вставлены в текст;
  - не допускается разрыв таблиц, рисунков, заголовков при переходе со страницы на страницу;
  - статья должна включать: УДК, авторов, название, авторское резюме, ключевые слова, текст, литературу, сведения об авторах. Пример оформления статьи приведен в **Приложении 1**.
  - авторское резюме (*Abstracts*) (150-250 слов), выполняется *курсивом* (авторское резюме должно быть выстроено по принципу автореферата диссертации или просто логически выстроенным);
  - ключевые слова (*Keywords*) (5-15 основных терминов), выполняется *курсивом*;
  - список литературы (*References*) выполняется в соответствии с требованиями (пример оформления литературы приведен в **Приложении 2**);
  - сведения об авторах (*Information about authors*) должны включать: Ф.И.О. полностью, должность, место работы, ученая степень, ученое звание, контактный телефон, электронный и почтовый адреса;
  - в конце статьи дается английская версия фамилий, инициалов авторов, названия статьи, авторского резюме, ключевых слов, литературы, сведений об авторах. **За качество перевода несут ответственность авторы статьи!!!! Перевод должен быть выполнен профессионально, не через электронного переводчика!!!**
- Редакционная коллегия оставляет за собой право исправлять ошибки без согласования с авторами.

УДК 621.746.5.047

Столяров А. М., Шевченко Е. А.

**УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА УЗКИХ ГРАНЕЙ СЛЯБОВОЙ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ****Авторское резюме:** 150-250 слов**Ключевые слова:** 5-15 основных терминов

Текст статьи

*Литература**Сведения об авторах*

YDK 621.746.5.047

Stolyarov A. M., Shevchenko Y. A.

**IMPROVING THE QUALITY OF NARROW FACES CONTINUOUS SLAB BILLET****Abstracts:** 150-250 words**Keywords:** 5-15 basic terms**References:****Information about authors:***Приложение 2**Пример оформления литературы*

1. Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. Изучение качества слябовой заготовки, отличной на криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2013. №1 (41). С. 27 – 30.
  2. Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. Влияние температуры разливаемого металла на качество непрерывнолитого сляба и листового проката // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. Вып.12. С. 68–74.
  3. Пат. 2061756 РФ, МПК С 21 В 7/00. Доменная печь / Курбацкий М.Н., Манаенко И.П., Монастырков В.П. и др.; заявитель и патентообладатель ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», Товарищество с ограниченной ответственностью «Техника и технология» (RU). – 9305232/02; заявл. 18.11.93; опубли. 10.06.96, Бюл. № 16. – 4 с.: ил.
  4. Донсков Е.Г., Лялюк В.П., Севернюк В.В. Работа воздушных фурм доменных печей. Днепропетровск: Пороги, 1997. 120 с.
  5. Лукашов Г.Г., Савелов Н.И., Плискановский С.Т. Опыт работы доменных печей на воздушных фурмах различного диаметра // Сталь. 1972. № 7. С. 587-589.
  6. Максимов Е.В, Альжанов М.К., Ержанов У.К. Влияние параметров фурмы на перепад газа в доменной печи. // Тез. докл. III Международного конгресса доменщиков. Новокузнецк, 1995. С.120
- На английском языке:** Авторы (транслитерация). Название статьи на английском языке. Название журнала курсивом (транслитерация) [Название журнала на английском языке (если есть)]. Выходные данные на английском языке, либо цифровые.
1. Moshkunov V.V., Stolyarov A. M., Kazakov A.S. Determination of the length to point of solidification in strands of Peritectic Low Alloyed steels for pipes with using "Mini whale" effect. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta im. G.I.Nosova* [Vestnik of Magnitogorsk State Technical University]. 2012, no. 1(37), pp. 24-26.

**Ответственный по изданию журнала:** доцент кафедры МЧМ ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И.Носова» Макарова И.В.

**По всем вопросам обращаться по тел. 8(3519)298430, либо по e-mail: [m.irina1976@mail.ru](mailto:m.irina1976@mail.ru).**