

# **ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

---

**№ 2 (15) 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.  
Актюбинского 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»

### **Технический редактор:**

**М. В. Потапова** – канд. техн. наук,  
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: 8.12.2014.

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

Заказ 857. Тираж 500 экз. Цена свободная.

# ***THE THEORY AND PROCESS ENGINEERING OF METALLURGICAL PRODUCTION***

---

**No. 2 (15) 2014**

---

The journal is incorporated into databases of the Russian Science Citation Index (RSCI)

---

## **Editorial Board Members**

### **Chairman:**

**V. M. Kolokoltsev** – D. Sc., Professor,  
Rector of Nosov Magnitogorsk State  
Technical University

### **Honorary Board Members:**

**K. N. Vdovin** – D.Sc., Professor,  
Nosov Magnitogorsk State Technical  
University

**K. K. Kaskin** – Ph.D., Professor,  
Aktyubinsk State University,  
Kazakhstan

**O. Ju. Sheshukov** – D.Sc., Professor,  
alloys Federal State Autonomous Educa-  
tional Institution of Higher Professional  
Education «Ural Federal University  
named after the first President of Russia  
B.N.Yeltsin»

**Z. Konopka** – D.Sc., Professor,  
Czestochowa University of Technology,  
Poland

### **Editor-in-Chief:**

**V. A. Bigeev** – D.Sc., Professor, Nosov Magnito-  
gorsk State Technical University

### **Scientific Editor:**

**I. V. Makarova** – Ph.D., Associate Professor,  
Nosov Magnitogorsk State Technical University

### **Technical Editor:**

**M. V. Potapova** – Ph.D., Associate Professor,  
Nosov Magnitogorsk State Technical University

© FSBEI of HE “Nosov Magnitogorsk State Technical University”, 2014

Founder – Nosov Magnitogorsk State Technical University  
(38, pr. Lenina, Magnitogorsk 455000, Chelyabinsk Region.)  
16+ in accordance with Federal Law #436-FZ dated 29.12.10

### **Editorial office:**

38, pr. Lenina, city of Magnitogorsk 455000, Russia  
Tel.: +7 (3519) 29-84-30. Fax: +7 (3519) 235 760  
E-mail: m.irina1976@mail.ru; [v.bigeev11@yandex.ru](mailto:v.bigeev11@yandex.ru)  
Prepared for the publication by the NMSTU publishing center,  
38, pr. Lenina, city of Magnitogorsk 455000, Russia

Printed by the NMSTU printing section,  
38, pr. Lenina, city of Magnitogorsk 455000, Russia.  
Publication date: 8.12.2014. Order 857. Circulation: 500. Open price.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ОБОГАЩЕНИЕ И ПОДГОТОВКА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ К МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМУ ПЕРЕДЕЛУ ..... 6

**Ендияров С.В., Петрушенко С.Ю.,  
Омельченко С.В.**  
Разработка комплекса математических моделей  
для создания системы автоматизированного  
проектирования охладителей железорудного  
агломерата ..... 6

**Петухов В.Н., Лапина Т.М.**  
Разработка режима флотации углей при  
использовании реагентов-вспенивателей  
различного химического состава и строения  
молекул ..... 10

**Петухов В.Н., Погуца С.С.**  
Исследование влияния флокулянтов  
различного элементного состава и строения  
на эффективность сгущения угольных пульп ..... 12

**Петухов В.Н., Бычкова А.В., Гунина Е.В.**  
Применение полимерных соединений  
в качестве реагента-модификатора  
при флотации каменноугольной мелочи ..... 16

**Петухов В.Н., Бычкова А.В., Гунина Е.В.**  
Исследование влияния высокомолекулярного  
соединения пав-1 на показатели флотиремости  
угля ..... 18

**Ганин Д.Р., Дружков В.Г.,  
Панычев А.А., Шаповалов А.Н.**  
Обзор и анализ математических моделей расчёта  
производительности агломерационной машины .. 20

### МЕТАЛЛУРГИЯ ЧУГУНА ..... 27

**Ширшов М.Ю., Дружков В.Г.,  
Павлов А.В., Прохоров И.Е.**  
Результаты оценки равномерности распределения  
дутья по фурмам доменных печей ..... 27

**Сибататуллин С.К., Махмутов Р.Ф.,  
Сибататуллина М.И., Стародубов В.А.,  
Буранова Э.Ф.**  
Об оптимальности распределения материалов в  
колошниковом пространстве доменной печи ..... 31

**Гущин Д.Н., Сенькин К.В., Харченко А.С.,  
Сибататуллина М.И., Миникаева З.Р.**  
Охлаждение агломерата с различным  
содержанием железа ..... 35

### МЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ ..... 38

**Шешуков О.Ю., Некрасов И.В., Метелкин  
А.А., Егизарьян Д.К., Кудинов Д.З.,  
Сапожникова Т.В.**  
Подготовленные сидериты и их использование  
в конвертерном процессе ..... 38

**Столяров А.М., Мошкун В.В.,  
Валова Е.Ю.**  
Лаковый режим ковшевой обработки  
кислородно-конвертерной IF-стали ..... 42

## CONTENTS

### DRESSING AND PREPARATION OF RAW MATERIALS FOR METALLURGICAL CONVERSION ..... 6

**Yendiyarov S.V, Petrushenko S.Yu,  
Omelchenko S.V.**  
Developing system of mathematical  
models for iron ore sinter cooler  
design automation ..... 6

**Petukhov V.N., Lapina T.M.**  
Development of coal flotation regime  
by various chemical composition blowing  
reagents use and molecule structure ..... 10

**Petukhov V.N., Pogutsa S.S.**  
Influence research flokulyantov of various element  
structure and the structure on efficiency of the  
condensation of coal pulps ..... 12

**Petuchov V.N., Bichkova A.V, Gunina E.V**  
Application of polymeric connections  
as a reagent-modifier during flotation  
of coal change ..... 16

**Petuchov V.N., Bichkova A.V, Gunina E.V.**  
Research of influence of high molecular connection  
PAV-1 on the indexes of flotability of coal ..... 18

**Ganin D.R., Druzhkov V.G.,  
Panychev A.A., Shapovalov A.N.**  
Review and analysis of mathematical models for  
calculating the performance of sintering machines .... 20

### IRONMAKING ..... 27

**Shirshov M.Y., Drouzhkov V.G.,  
Pavlov A.V., Prohorov I.E.**  
Results of an estimation of uniformity of distribution  
on blast to the tuyeres of blast furnace ..... 27

**Sibagatullin S.K., Mahmutov R.F.,  
Sibagatullina M.I., Starodubov V.A.,  
Buranova Je.F.**  
On optimal allocation of materials in blast furnace  
space blast furnace ..... 31

**Guschin D.N, Senkin K.V., Harchenko E.O.,  
Sibagatullina M.I., Minikaeva Z.R.**  
Cooling of sinter with different  
iron content ..... 35

### STEELMAKING ..... 38

**Sheshukov O.J., Nekrasov I.V.,  
Metelkin A.A., Egiazarjan D.K.,  
Kudinov D.Z., Sapozhnikova T.V.**  
Processed siderites and their use  
in steelmaking process ..... 38

**Stolyarov A.M., Moshkunov V.V.,  
Valova E.Y.**  
Slag regime of ladle treatment for IF-steel ..... 42

<b>Колесников Ю.А., Бигеев В.А., Сергеев Д.С.</b> Расчет технологических параметров выплавки стали в конвертере с использованием различных охлаждателей .....	45	<b>Kolesnikov Y.A. Bigeev V.A. Sergeyev D.S.</b> Calculation of technological parameters of smelting became in the converter with use of various coolers .....	45
<b>Коротин А.В., Лозовский Е.П., Дюльдина Э.В., Селиванов В.Н.</b> Экспериментальное исследование шлакообразрвания в промежуточном ковше с магнизиальной футеровкой .....	48	<b>Korotin A.V., Lozovskiy E.P., Dyuldina E.V., Selivanov V.N.</b> Experimental investigation of slagging in the tundish with magnesial lined .....	48
<b>Вдовин К.Н., Точилкин В.В., Ячиков И.М., Тутарова В.Д.</b> Особенности течения жидкой стали в кристаллизаторе слябовой МНЛЗ .....	52	<b>Vdovin K., Tochilkin V., Yachikov I., Tutarova V.</b> Features of the flow of liquid steel in the mould the key slab caster .....	52
<b>Буданов Б.А., Колесников Ю.А.</b> Обеспечение требуемого содержания азота в трансформаторной стали .....	56	<b>Budanov B.A., Kolesnikov J.A.</b> Providing of the demanded content of nitrogen in transformer steel .....	56
<b>Скобельцын М.А., Селиванов В.Н.</b> Исследование причин отсортировки листвого проката по дефектам кислородно-конвертерного цеха .....	59	<b>Skobeltsyn M.A., Selivanov V.N.</b> Analyze of basic oxygen furnace technological parameters influence on steel quality .....	59
<b>Чуманов И.В., Иванин А.Д., Брусникова А.В.</b> Поиск оптимального метода построения математической модели процесса продувки жидкой стали порошком извести в струе аргона ..	63	<b>Chumanov I.V., Ivanin A.D., Brusnikova A.V.</b> The search for the optimal method of constructing a mathematical model of the process of blowing liquid steel with lime powder in a stream of argon .....	63
<b>ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЯ И ПРОИЗВОДСТВО ФЕРРОСПЛАВОВ .....</b>	<b>67</b>	<b>ELECTROMETALLURGY AND FERROALLOYS PRODUCTION .....</b>	<b>67</b>
<b>Ячиков И.М., Портнова И.В., Вдовин К.Н.</b> Влияние внешних магнитных полей на поведение дуги и расплава в дуговой печи постоянного тока .....	67	<b>Yachikov I.M., Portnova I.V., Vdovin K.N.</b> Influence of external magnetic fields on arc behavior and melt in dc arc furnace .....	67
<b>Ячиков И.М., Вдовин К.Н., Костылева Е.М.</b> Анализ основных электромагнитных сил, действующих на дугу в трехфазной дуговой печи	70	<b>Yachikov I.M., Vdovin K.N., Kostyleva E.M.</b> The analysis of the main electromagnetic forces acting on the three-phase arc furnace .....	70
<b>ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО .....</b>	<b>77</b>	<b>FOUNDRY .....</b>	<b>77</b>
<b>Миляев А.Ф., Никитин Ю.П., Кадников С.В., Тимофеев В.А., Матвеев А.Н.</b> Влияние параметров эксплуатации на стойкость изложниц из ваграночного чугуна .....	77	<b>Miljaev A.F., Nikitin Y.P., Kadnikov S.V., Timofeev V.A., Matveev A.N.</b> Influence parameters of exploitations ingot moulds from cupola iron on life time ingot moulds .....	77
<b>Леушин И.О., Коровин В.А., Ульянов В.А., Токарникова О.В., Шигин В.Е.</b> Влияние внепечных методов воздействия на медные сплавы для повышения их качества.....	80	<b>Leushin I.O., Korovin V.A., Ulyanov V.A., Tokarnikova O.V., Shigin V.E.</b> Influence of extra oven methods of influence on the copper alloys for increase of their quality .....	80
<b>Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А.</b> Анализ технологических мероприятий, направленных на предотвращение горячих трещин на стальных отливках .....	84	<b>Vdovin K., Feoktistov N.</b> The analysis of technological measures aimed at prevent hot cracks in steel castings .....	84
<b>Фирстов А.П.</b> Кинетика реакции нейтрализации жидкого стекла кислотами в щелочной среде .....	87	<b>Firstov A.P.</b> The kinetics of the reaction of neutralization of liquid glass acids in alkaline medium .....	87
<b>Вдовин К.Н., Лисовская М.А.</b> Магнитный мониторинг рабочих валков при искусственном старении .....	91	<b>Vdovin K.N., Lisovskaya M.A.</b> Magnetic monitoring of the work rolls during artificial aging .....	91
<b>ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ .....</b>	<b>96</b>	<b>METAL FORMING .....</b>	<b>96</b>
<b>Сычков А.Б., Малашкин С.О.</b> Оборудование и технология для термоправки – термомеханического упрочнения фасонного профиля .....	96	<b>Sychkov A.B., Malashkin S.O.</b> The equipment and technology for thermoediting - thermomechanical hardening of the shaped profile .....	96

**РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ  
ТЕХНОЛОГИИ В ЧЕРНОЙ металлургии..... 101**

**Панишев Н.В., Бигеев В.А.,  
Черняев А.А., Пантелеев А.В.**  
Переработка мелкозернистых отходов  
металлургического производства с получением  
гранулированного чугуна и извлечением цинка 101

**Коляда Л.Г., Кремнева А.В.**  
Изучение антикоррозионных свойств  
комбинированных упаковочных материалов  
для металлопродукции ..... 105

**ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ  
СРЕДЫ ..... 109**

**Свиридова Т.В., Мурзина Е.А.**  
К вопросу образования и обращения  
промышленных отходов на территории  
Челябинской области ..... 109

**Понурко И.В., Костина З.И.,  
Крылова С.А., Шабалин Е.И.**  
Антинакипные свойства композиции «АСТРА» 112

**Ильина О.Ю., Боброва Э.М., Тураманова Л.Б.**  
Нарушения природоохранного законодательства 116

**Боброва З.М., Тураманова Л.Б.**  
Предложения по улучшению состояния почв  
в городе Магнитогорске ..... 120

**ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ..... 123**

**Кочкин Ю.П., Богачева И.Ю.**  
Комплексная установка для выполнения  
лабораторных работ по молекулярной физике  
и термодинамике ..... 123

**RESOURCES AND ENERGY SAVING  
TECHNOLOGIES IN FERROUS  
METALLURGY .....101**

**Panishev N.V., Bigeev V.A.,  
Chernyaev A.A., Panteleev A.V.**  
Fine-grained metallurgical wastes recycling  
FOR iron pellets production and zinc extraction ..... 101

**Kolyada L.G., Kremneva A.V.**  
Studying of anticorrosive properties  
of the combined packing materials  
for steel products..... 105

**ECOLOGY AND ENVIRONMENT  
PROTECTION .....109**

**Sviridova T.V., Myrzina E.A.**  
To the question of receiving and the treatment  
of industrial waste on the territory  
of the Chelyabinsk region ..... 109

**Ponurko I.V., Kostina Z.I.,  
Krylova S.A., Shabalin E.I.**  
Antiscale composition properties "Astra" ..... 112

**Iina O.Yu., Bobrova E.M., Turamanova L.B.**  
Violations of environmental laws ..... 116

**Bobrova Z.M., Turamanova L.B.**  
Proposals to better soils  
in Magnitogorsk ..... 120

**COMMON THEORETICAL QUESTIONS .....123**

**Kochkin Y.P., Bogacheva I.Y.**  
Integrated installation laboratory studies on  
molecular physics and thermodynamics ..... 123

# ОБОГАЩЕНИЕ И ПОДГОТОВКА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ К МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМУ ПЕРЕДЕЛУ

УДК 004.896

Ендияров С.В., Петрушенко С.Ю., Омельченко С.В.

## РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОХЛАДИТЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО АГЛОМЕРАТА

***Аннотация.** Разработан комплекс математических моделей для системы автоматизированного проектирования охладителей, общей целью которой является в рамках жизненного цикла промышленных изделий решить задачи автоматизации работ на стадиях проектирования и подготовки производства охладителей железорудного агломерата. Комплексная автоматизация проектирования агломерационного оборудования позволяет внести такие изменения в структуру проектных предприятий, которые соответствуют целям автоматизации – сокращению материальных и временных затрат, повышению качества проектирования, сохранению численности инженерно-технических работников на прежнем уровне, несмотря на усложнение проектируемых объектов.*

***Ключевые слова:** охладитель агломерата, система автоматического проектирования, оптимизация, имитационное моделирование.*

Известно, что производство охлажденного стабилизированного агломерата является эффективным способом уменьшения удельного расхода кокса и повышения производительности доменных печей [1]. Вместе с тем его использование связано с существенным усложнением схемы обработки аглоспека. Поэтому в типовых технологических схемах первых агломерационных фабрик охлаждение и механическая стабилизация агломерата не предусматривались. Механическая стабилизация агломерата перед загрузкой в доменную печь появилась при внедрении производства охлажденного агломерата и конвейерных трактов его передачи в доменный цех. Однако стабилизация агломерата в перегрузочных узлах конвейерного тракта приводит к образованию большого количества мелочи 5–0 мм непосредственно перед бункерами доменных печей. Поэтому грохочение агломерата при выдаче из бункеров не позволяет получить желаемое (4–5%) содержание мелочи в скиповом агломерате.

При транспортировке агломерата к доменным печам транспортерами с резиновой лентой, допустимая температура нагрева которой не превышает 150°C, при расчете и организации охлаждения следует исходить из необходимости полного исключения кусков агломерата с температурой выше указанной по условиям службы ленты. Особенно это надо иметь в виду в связи с тенденцией к замене обычной (скиповой) загрузки доменных печей транспортерной, лента которой имеет большую длину и стоимость. В этих условиях лучше добавлять площадь охлаждающих агрегатов, чем вывести из строя транспортерную загрузку.

Найденное исследовательской группой АДО отдела НИР ОАО «Уралмашзавод» техническое решение по автоматизированному проектированию охладителей в пределах агломерационной фабрики является важ-

ным шагом в направлении повышения эффективности применения агломерационного оборудования.

Для решения обозначенных выше проблем была разработана система автоматизированного проектирования охладителей, общей целью которой является в рамках жизненного цикла промышленных изделий решить задачи автоматизации работ на стадиях проектирования и подготовки производства охладителей для производства агломерата. Что позволит повысить эффективность труда инженеров, включая сокращения трудоёмкости проектирования и планирования, сократить сроки проектирования изделия, себестоимость проектирования и изготовление охладителей.

При этом в состав программного комплекса включены следующие модели:

- Модель охлаждения двухфракционного слоя, т.е. слоя, содержащего куски двух размеров, причем одна фракция значительно мельче другой. С помощью этой модели возможно рассчитать время охлаждения агломерата в конкретных производственных условиях. Иллюстрация работы модели для конкретных условий приведена на рис. 1.

- Модель охлаждения всего агломерата, как двухфракционного, состоящего из мелких частиц и «крупных», дает заниженное время охлаждения, так как время, необходимое для охлаждения кусков диаметром более среднего, может оказаться при определенных условиях значительно больше. С целью учета данного явления была разработана математическая модель, представляющая собой 3-мерное уравнение теплопроводности. Наличие чрезмерно крупных кусков агломерата в охлаждаемом слое приводит к недостаточному охлаждению их внутренних объемов из-за высокого термического сопротивления. К концу периода охлаждения поверхность таких кусков приобретает

иногда температуру, близкую к температуре окружающего воздуха. Однако при выгрузке крупные куски нередко разламываются на части, при этом обнаруживается неохлажденная сердцевина, температура которой достигает более 200–300°C. Такие куски вызывают прогары прорезиненной ленты конвейеров, предназначенных для транспортировки охлажденного агломерата,

а также приводят к неудовлетворительным санитарно-гигиеническим условиям на тракте транспортировки, грохочения и погрузки. Иллюстрация работы модели для конкретных условий приведена на рис. 2.

• Модель оптимизации основных параметров охладителя и процесса охлаждения.

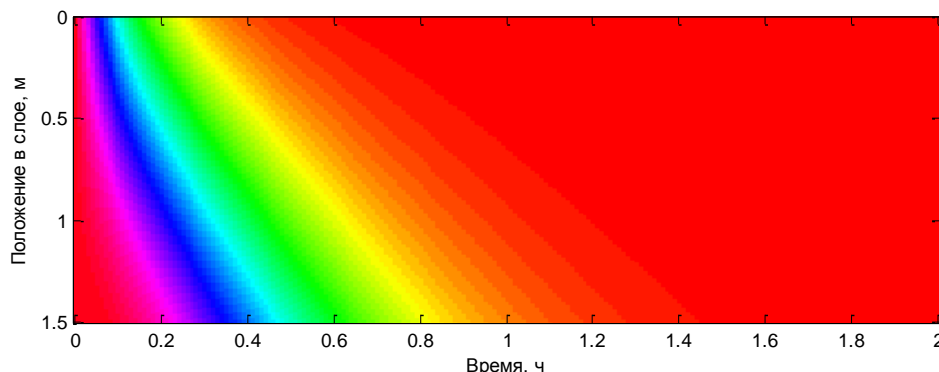


Рис. 1. Модель охлаждения двухфракционного слоя

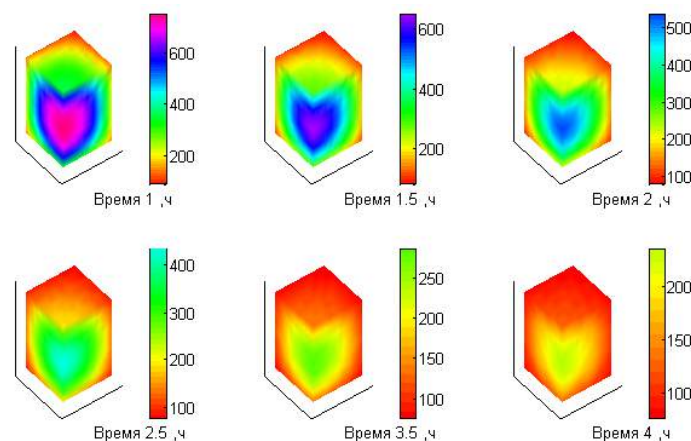


Рис. 2. Модель охлаждения крупного куска в слое

При этом целями оптимизации являются:

1. Снижение металлоемкости. Снижение металлоемкости одна из целей, достижение которой позволяет снизить стоимость изготовления охладителя.

2. Время нахождения материала на ленте должно быть как можно ближе к времени его остывания до заданной температуры. Температура агломерата на разгрузке должна быть как можно ниже.

3. Потери напора воздуха должны быть минимальными и находиться в пределах, позволяющих использовать существующие тягодутьевые средства. Скорость процесса охлаждения продуктов окускования зависит от количества воздуха, просасываемого через слой, и условий теплообмена между воздухом и кусками насыпной массы материала. При прочих равных условиях количество просасываемого воздуха зависит от газопроницаемости слоя. Достижение равных скоростей фильтрации воздуха в слоях, обладающих различной газопроницаемостью, возможно лишь при различных значениях перепадов давления. Установка с более мощным вакуумно-дутьевым ап-

паратом имеет высокий расход электроэнергии, недостаточная мощность приводит к тому, что система охлаждения оказывается неработоспособной. В связи с этим необходима тщательная оценка газопроницаемости слоя, обеспечивающая возможность оптимизировать процесс охлаждения.

4. Охладитель должен обеспечивать заданную производительность по годовому агломерату.

5. Охладитель должен удовлетворять проектным размерам.

Функционально разработанный программный комплекс включает в себя следующие подсистемы:

1. Подсистема визуализации. Осуществляет 3D визуализацию процесса охлаждения агломерата, с отображением текущего состояния (отображение контура охлаждаемого аглоспека, распределение температур в объеме аглоспека) за произвольный период охлаждения (рис. 3).

Кроме того, подсистема позволяет отображать основные конструктивные и режимные параметры работы охладителя агломерата, в том числе распреде-

ление температур по длине охладителя, от момента загрузки (рис.4). Осуществлять 2D визуализацию двухфракционного слоя агломерата по высоте, с течением времени [2].

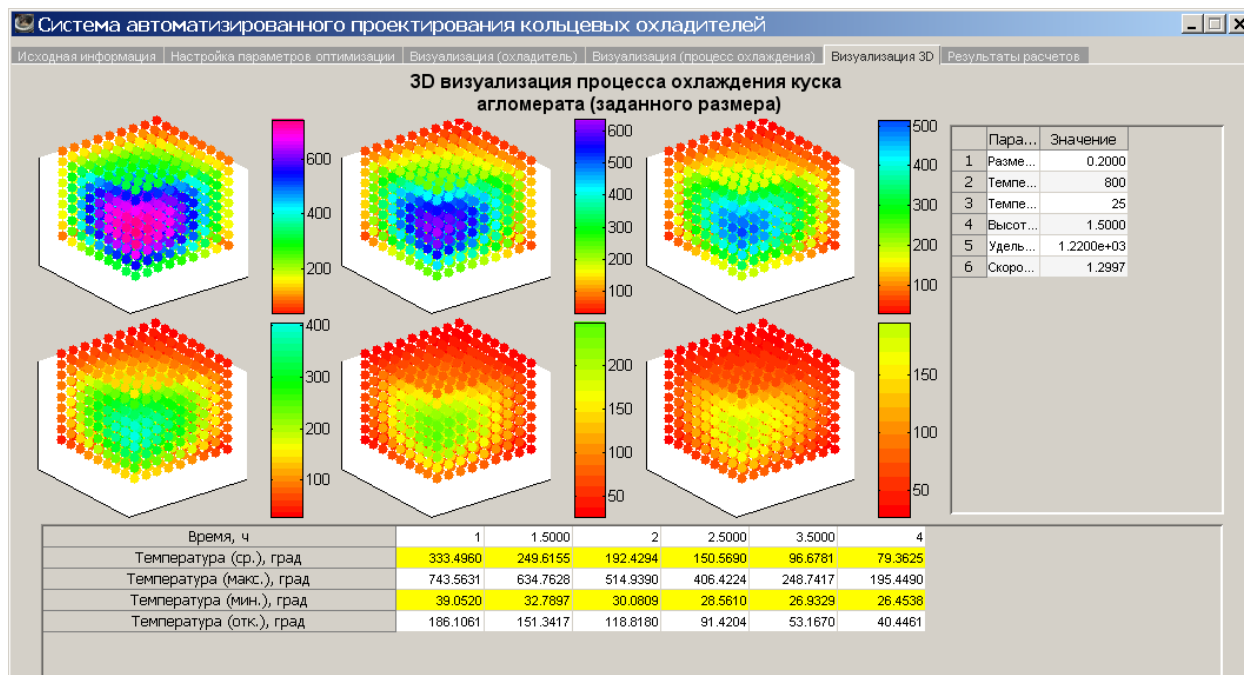


Рис. 3. Форма 3D визуализации процесса охлаждения

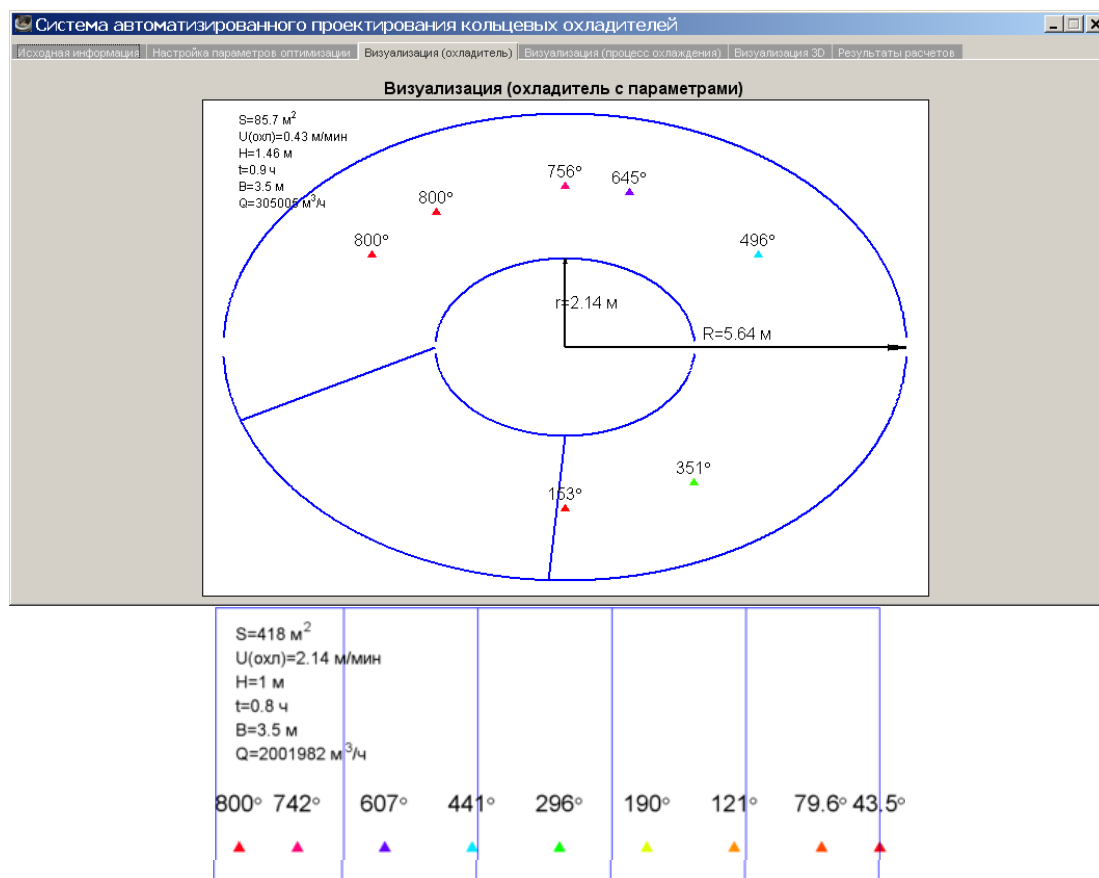


Рис. 4. Основные конструктивные и режимные параметры работы кольцевого (верх) и линейного (низ) охладителей агломерата после оптимизации



2. Подсистема оптимизации. Производит оптимизацию процесса выбора конструктивных параметров охладителя, при этом учитываются следующие критерии: производительность охладителя, metallo-

емкость, температура агломерата на разгрузке, время охлаждения, эффективная площадь охлаждения, газопроницаемость слоя (рис.5) [3].

Рис. 5. Форма ввода параметров оптимизации

3. Подсистема имитационного моделирования. Позволяет моделировать процесс охлаждения агломерата в охладителе для конкретных условий производства.

4. Подсистема генерации отчетов. Позволяет формировать отчеты, включающие результаты оптимизации, моделирования, визуализации.

### Заключение

При современных масштабах производства металла и непрерывном росте единичной мощности агрегатов правильный выбор рационального способа охлаждения и оборудования имеет немаловажное значение. Тем более, что на сегодняшний день отсутствуют известные отечественные комплексы автоматического проектирования охладителей агломерата, удовлетворяющие требованиям европейских стандартов качества. Комплексная автоматизация проектирования агломерационного оборудования позволяет внести такие изменения в структуру проектных предприятий, которые соответствуют целям автоматизации – сокращению материальных и временных затрат, повышению качества проектирования, сохранению численности инженерно-технических работников на прежнем уровне, несмотря на усложнение проектируемых объектов. Кроме того, автоматизированные комплексы проектирования позволяют вывести агло-

мерное производство на новый уровень развития, тем самым повышая их конкурентоспособность.

Исследовательская группа ОАО «Уралмашзавод» имеет большой опыт разработки комплексных систем управления, диагностики, проектирования для аглодоменных производств. Разработанная система проектирования охладителей позиционируется, как универсальный комплекс, использование которого возможно как для производства агломерата, так и производства окатышей. Данная система планируется к использованию ОАО «Уралмашзавод» при проектировании новых и модернизации существующих производств.

### Список литературы

1. Ендияров С.В., Петрушенко С.Ю., Омельченко С.В. Система автоматизированного проектирования кольцевых охладителей // Сталь. 2014. № 6. С. 75-79.
2. Ендияров С.В., Петрушенко С.Ю. Диагностика процессов подготовки и производства агломерата. LAP Lambert Academic Publishing, Germany, 2013. 332 с.
3. Ендияров С.В., Петрушенко С.Ю. Система диагностики и управления процессом подготовки и производства железорудного агломерата // Автоматизация в промышленности. 2012. №10. С.65-68.

Сведения об авторах

**Ендияров Сергей Валерьевич** – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник ОАО «Уралмашзавод», г. Екатеринбург. E-mail: [endeyarov@olympus.ru](mailto:endeyarov@olympus.ru)

**Петрушенко Сергей Юрьевич** – канд. техн. наук, науч. сотрудник ОАО «Уралмашзавод», п. Верхняя Сысерть, Свердловская область.

**Омельченко Сергей Владимирович** – канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник ОАО «Уралмашзавод», г. Екатеринбург.

---

---

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

---

**DEVELOPING SYSTEM OF MATHEMATICAL MODELS FOR IRON ORE SINTER COOLER DESIGN AUTOMATION**

**Yendiyarov Sergei Valeryevich** – Ph.D., principal research engineer of «Uralmashplant» JSC, Yekaterinburg. E-mail: [endeyarov@olympus.ru](mailto:endeyarov@olympus.ru)

**Petrushenko Sergei Yuryevich** – Ph.D., research engineer of «Uralmashplant» JSC. Sverdlovskaya obl, Verkhniya Sisert.

**Omelenchenko Sergei Vladimirovich** – Ph.D., leading research engineer of «Uralmashplant» JSC, Yekaterinburg.

*Abstracts.* In this article, we describe a computer aided design system for a sinter cooler (any type). The developed computer aided design system uses state-of-the-art cooling process models as well as optimization techniques. As a result, the system can help engineers to optimize cooler parameters as well as sintering process specifications to achieve specific goals of concrete iron ore sintering plant.

**Keywords:** cooler of sinter, computer aided design, optimization, simulation.

**References**

1. Yendiyarov S.V., Petrushenko S.Yu., Omelchenko S. V. Computer aided design system for sinter circular cooler. *Stal* [Steel]. 2014, no. 6, pp. 75-79.
2. Yendiyarov S.V., Petrushenko S.Yu. Condition monitoring of iron ore sinter processing and preparation processes, LAP Lambert Academic Publishing, Germany, 2013, pp. 332.
3. Yendiyarov S.V., Petrushenko S.Yu. Condition monitoring and control system for iron ore production and preparation processes. *Avtomatizatsiya v promishlennosti* [Automation in industry], 2012, no. 10, pp.65-68.



УДК 662.741.3.022:622.765

Петухов В.Н., Лапина Т.М.

**РАЗРАБОТКА РЕЖИМА ФЛОТАЦИИ УГЛЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕАГЕНТОВ-ВСПЕНИВАТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И СТРОЕНИЯ МОЛЕКУЛ**

**Аннотация.** В работе рассмотрено влияние действия реагентов-вспенивателей различного химического состава и строения молекул на разработку режима флотации углей, поступающих на коксование. Установлена наиболее высокая селективность процесса флотации при использовании в качестве реагента-вспенивателя ЭТС-40, что позволяет снизить зольность концентрата на 1,6% в отличие от использования других реагентов-вспенивателей. Пониженная зольность концентрата объясняется использованием в качестве реагентов-вспенивателей технических продуктов нефтехимии, содержащих в групповом химическом составе кремнийорганические соединения.

**Ключевые слова:** уголь, флотация углей, реагенты-собиратели, реагенты-вспениватели, кремнийорганические соединения, селективность, эффективность, зольность концентрата.

В связи с высокой зольностью углей, добываемых на шахтах РФ, необходимо их обогащение перед отправкой на коксование. Для мелких классов углей используется метод флотации. Флотация является наиболее эффективным методом обогащения угольной мелочи и широко применяется на УОФ. В качестве реагентов при флотации используются реагенты-собиратели и реагенты-вспениватели. Реагенты-собиратели, адсор-

бируясь на поверхности углей, повышают гидрофобность зерен, обеспечивая их высокую флотиреемость. Реагенты-вспениватели, адсорбируясь на границе раздела фаз жидкость – воздух, понижают поверхностное натяжение. При этом создаются благоприятные условия не только для образования пузырьков определенного размера и прилипания к ним взвешенных частиц, но и стабилизация пены. Поскольку вспениватели об-

Таблица 2

Показатели флотации углей с использованием различных реагентов-вспенивателей

Вспениватель	Реагентный режим			Продукты флотации	Суммарный выход, %	Суммарная зольность, %	Извлечение горючей массы в концентрат, %
	Вспениватель	Собиратель	Общий				
КОБС	0,06	1,37	11,43	Концентрат 1	32,67	9,6	89,2
				Концентрат 2	64,2	9,8	
				Концентрат 3	84,2	10,25	
				Отходы	15,8	45,4	
				Исходы	100,0	15,2	
ВМС	0,06	11,37	11,43	Концентрат 1	65	9,2	94,7
				Концентрат 2	86	9,7	
				Концентрат 3	89,3	10,1	
				Отходы	10,7	57,8	
				Исходы	100	15,2	
Кэтгол	0,06	11,37	11,43	Концентрат 1	48,33	9,7	98,21
				Концентрат 2	76,8	9,77	
				Концентрат 3	92,76	10,20	
				Отходы	7,64	76,24	
				Исходы	100	15,2	
ЭТС-40	0,06	11,37	11,43	Концентрат 1	74,5	8,0	95,9
				Концентрат 2	86,0	8,10	
				Концентрат 3	89,0	8,60	
				Отходы	11,0	81,55	
				Исходы	100	15,2	

Таблица 1

Групповой химический состав реагентов-вспенивателей

Реагент	Групповой химический состав, %масс.
КОБС	Спирты (С8) - 5,40-5,52
	Ацетали (С12) - 33,50-35,10
	Ацетали (С16) - 15,00-15,80
	Сложные эфиры (С12) - 4,90-5,30
	Простые эфиры (С12-С16) - 37,50-39,50
	Смолы - 1,06-1,16
ВМС	Смесь высокомолекулярных спиртов от С9-С13
Кэтгол	Смесь первичных спиртов алифатического и этиленового ряда и альдегидов изоостроения
ЭТС-40	Смесь олигоэтоксилосиланов с разной степенью конденсации (RO) <sub>3</sub> Si[OSi(OR) <sub>2</sub> ] <sub>4</sub> OSi(OR) <sub>3</sub> , содержащий SiO <sub>2</sub> – 40% масс.

Исследованием было установлено, что при использовании в качестве реагента-вспенивателя кубовых остатков бутиловых спиртов суммарный выход концентрата составил 84,2%. При этом извлечение горючей массы в концентрат составляет 89,2%.

При использовании в качестве реагентов-вспенивателей высокомолекулярных спиртов (ВМС) и ЭТС-40 выход концентрата повысился и составил 89,3 и 89,0%, соответственно, при извлечении горючей массы в концентрат 94,7 и 95,7% . В случае использования в качестве реагента-вспенивателя кэтгола получен наиболее высокий выход концентрата – 92,4% при извлечении горючей массы в концентрат 98,2% (табл. 2).

Следует отметить что, в случае использования в качестве реагента-вспенивателя ЭТС-40 селективность процесса флотации наиболее высокая при выходе концентрата – 89,0%, его зольность на 1,6% ниже по сравнению с использованием Кэтгола или ВМС (см. рисунок)

В ряде работ установлено, что, кремнийорганические соединения используются для гидрофобизации угольной поверхности при адсорбции чистых химических соединений путем исследования прочности закрепления пузырька воздуха на угле и величины выхода всплывшего продукта в монопузырьковом аппарате.

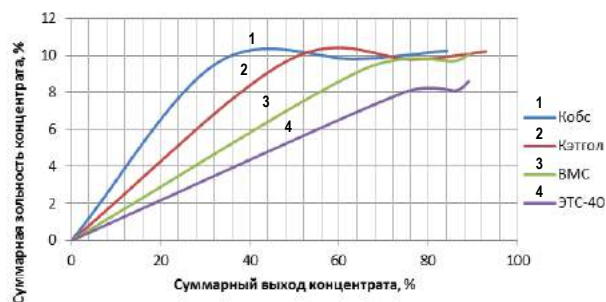
Установлено:

- наблюдается корреляция прочности закрепления пузырька воздуха на угольной поверхности в зависимости от суммарной π-электронной плотности на полярных атомах молекулы, что вызывает соответствующее повышение выхода всплывшего продукта;

- наиболее высокая прочность закрепления пузырька воздуха на угле наблюдается при адсорбции кремнийорганических соединений.

\* Реагент-вспениватель для флотации угля. URL:

<http://www.findpatent.ru/patent/211/2112601.html>.



Влияние группового химического состава реагентов-вспенивателей на зольность флотоконцентратов

Использование концентрата с пониженной зольностью при коксовании позволит получать кокс, удовлетворяющий требованиям доменного производства.

#### Сведения об авторах

**Лапина Татьяна Михайловна** – студентка ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: Lapina@yandex.ru

**Петухов Василий Николаевич** – д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: Chief.petuhov2013@yandex.ru

---

### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

---

#### DEVELOPMENT OF COAL FLOTATION REGIME BY VARIOUS CHEMICAL COMPOSITION BLOWING REAGENTS USE AND MOLECULE STRUCTURE

**Lapina Tatyana Mihailovna** – Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: Lapina@yandex.ru

**Petukhov Vasily Nikolaevich** – D. Sc. (Eng), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: Chief.petuhov2013@yandex.ru

**Abstracts.** This article examines the effects of the operation of the reactants, foaming agents with different chemical composition and molecular structure on the development of coal flotation regime entering the coking. Set the highest selectivity of the flotation process using as reagent ETS-40 blowing agent that reduces the ash content at the outlet of 1.6% in contrast to the use of other reagents, blowing agents. The reduced ash content due to the use as reagents, industrial products of petrochemical blowing agent containing the group consisting of organosilicon compounds of the chemical.

**Keywords:** coal, coal flotation, collecting agents, foaming agents, organic silicon compounds, selectivity, efficiency, ash content.



УДК 662.741.3.022:622.765

Петухов В.Н., Погуца С.С.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФЛОКУЛЯНТОВ РАЗЛИЧНОГО ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА И СТРОЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СГУЩЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ПУЛЬП

**Аннотация.** В работе рассмотрено действие анионных и катионных флокулянтов при осаждении угольных пульп. Установлена высокая эффективность анионных флокулянтов повышенной молекулярной массы. Установлено, что скорость осаждения угля определяется молекулярной массой, структурными особенностями молекул флокулянтов. Наиболее высокая скорость осаждения угля установлена для анионных флокулянтов Magnafloc.

**Ключевые слова:** уголь, флокулы, молекулярная масса, структура флокулянтов, анионные и катионные флокулянты, скорость осаждения угля.

Современные углеобогатительные предприятия постоянно сталкиваются с проблемой ухудшения качества перерабатываемого угля, и в связи с этим большое внимание уделяется селективному извлечению тонких шламов из оборотной воды. Это связано с тем, что глинистые вещества породы и тонкие шламы рядовых углей при неэффективном их выводе из водно-шламовой схемы фабрики приводят к накоплению в оборотной воде большого количества высокозольных шламовых частиц, которые, попадая в пенный продукт флотации, увеличивают зольность концентрата.

Решение этой проблемы во многом связано с правильным подбором флокулянтов и флотационных реагентов, которые обеспечивают высокую эффективность работы всей фабрики в условиях жестко замкнутой водно-шламовой схемы. Это относится как к предприятиям с обогащением до 0 мм, с процессом флотации, так и к фабрикам, не обогащающим шламы, но вынужденным обезвоживать их.

Флокулянты – вещества, вызывающие в жидких дисперсных системах флокуляцию – образование рыхлых хлопьевидных агрегатов (флокул) из мелких частиц дисперсной фазы.

Наибольшее практическое значение имеет флокуляция в водной среде, вызванная высокомолекулярными флокулянтами – полиэлектролитами или неионогенными полимерами. При этом наиболее вероятна так называемая адсорбционная флокуляция – соединение частиц в результате адсорбции отдельных сегментов макромолекулярной цепи флокулянта на разных частицах. Возможны также и другие механизмы: взаимодействие между молекулами флокулянта, каждая из которых адсорбционно связана с одной частицей, неадсорбционная флокуляция, например вытеснительная, протекающая по механизму гидрофобных взаимодействий.

Адсорбционная флокуляция происходит, как правило, при оптимальном соотношении концентраций флокулянта и частиц дисперсной фазы. На кинетику и полноту флокуляции, а также структуру и свойства флокул влияют, с одной стороны, молекулярная масса, степень ионизации, конформация макромолекул флокулянта, с другой – знак и плотность поверхностных зарядов, размер и форма коллоидных частиц, химический состав их поверхности. Наиболее эффективна флокуляция при степени адсорбционного заполнения поверхности частиц полимером около 0,5. Избыток флокулянта может не только ухудшить флокуляцию, но вызвать обратный процесс – дефлокуляцию, или пептизацию.

В последнее время широкое применение в практике обогатительных фабрик нашли новые высокомолекулярные синтетические флокулянты\*. Процесс

флокуляции аналогичен коагуляции, но возникает вследствие адсорбции на поверхности частиц гетерополярных молекул флокулянта. В результате этого происходит укрупнение частиц, т.е. образование хлопьев, оседающих под действием силы тяжести. Процесс флокуляции используют как для осаждения угольной мелочи, отправляемой на флотационное обогащение, так и для угольных шламов.

Эффективность действия флокулянтов обуславливается их химическим составом, молекулярной массой, структурными особенностями, а также расходом. Однако общепринятые заключения по эффективности действия флокулянтов и механизма их действия при флотации углей различной стадии метаморфизма и минерализации органической массы углей, в сочетании с использованием различных флотационных реагентов, отсутствуют.

В зависимости от характера активных групп флокулянта при диссоциации в воде различают флокулянты – полиэлектролиты (ионогенные), которые, в свою очередь, подразделяются на анионные, катионные и катионно-анионные полиэлектролиты, и неионные (неионогенные) флокулянты. Молекулы неионного типа имеют форму длинных жестких цепей с большим количеством гидроксильных групп, которые адсорбируются на твердых частицах и прочно соединяются с ними за счет образования водородных связей. При этом формируются крупные агрегаты. Полимеры ионного типа (полиэлектролиты) являются значительно более эффективными флокулянтами, чем полимеры неионного типа.

Ионные флокулянты делятся на три группы:

1) анионные полиэлектролиты, которые при диссоциации образуют полимерный органический полианион и простой катион (Na, K, NH<sub>4</sub>). Примером такого рода могут служить флокулянты Magnafloc, в частности M-10;

2) катионные полиэлектролиты, которые при диссоциации образуют органический поликатион и простой анион (Cl, SO<sub>4</sub>, CH<sub>3</sub>COO). Примером такого рода флокулянтов могут служить: Magnafloc M-380, ВПК-402, Технофлок-1597, КСП-202;

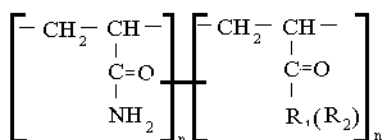
3) катионно-анионные - образующие при диссоциации поликатион и полианион.

Исследовано влияние эффективности осветления тугольных пульп при использовании флокулянтов различного элементного состава и строения.

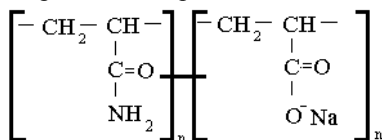
**Флокулянт Magnafloc M-10** – сополимер акриламида, анионный, молекулярная масса 18 млн, рабочий диапазон 5-11 pH.

\* Новак В.И., Долматов В.И. Селективная флокуляция угольного

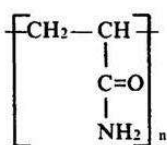
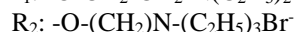
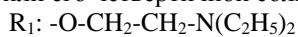
шлама на ОФ «Распадская» // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. №5. С. 48-51.



Структурная формула анионного сополимера акриламида с акрилатом натрия.



Структурная формула катионного сополимера акриламида с N, N – диэтиламиноэтилметакрилатом (R<sub>1</sub>) или его четвертичной солью (R<sub>2</sub>), где



**Технофлок-ТЛ 1597** – синтетический флокулянт на основе полиамина.

**Флокулянт Magnafloc M-1597** – синтетический флокулянт на основе полиамина. Он выпускается в виде 50% раствора, хорошо растворимого в воде. Флокулянт имеет максимальную катионную активность, низкую молекулярную массу менее 5 тыс. и основной механизм действия – изменение заряда поверхности. У флокулянта отсутствуют длинные молекулярные цепи.

**Флокулянт Magnafloc M-525** – сополимер акриламида, анионный, молекулярная масса 10 млн, ионная активность 45–50%.

**Полиэлектролит ВПК-402** – синтетический органический высокомолекулярный катионный водорастворимый полимер линейно-циклической структуры, получаемый путем радикальной полимеризации мономера диметилдиаллиламмонийхлорида. Молекулярная масса полимера составляет примерно  $3 \cdot 10^5$ .

**КСП-202** – композиционный синтетический катионный полимер с молекулярной массой – от 10 000 до 1 млн.

**Флокулянт Magnafloc M-345** – сополимер акриламида, анионный, молекулярная масса 15 млн, ионная активность 40–45%.

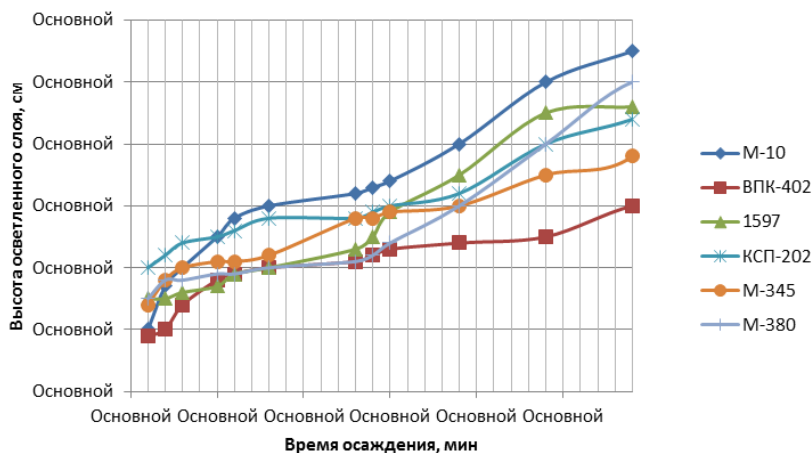
**Флокулянт Magnafloc M-380** – катионный сополимер акриламида, катионная активность 80%, молекулярная масса 14 млн.

При флокуляции угольных пульп в работе были исследованы вышеуказанные флокулянты при расходе 2 г/т, 4 г/т, 8 г/т, 10 г/т.

Установлено, что при расходе флокулянтов от 2 до 8 г/т наблюдалось закономерное увеличение скорости осаждения угольных пульп, чем без флокулянта (см. рисунок). При увеличении расхода флокулянта до 10 г/т эффективность флокуляции значительно снижается, так как большое количество молекул флокулянта, окружающего со всех сторон частицу угля, образует вокруг нее слой, который мешает слипанию с соседней частицей.

При проведении исследований по флокуляции угольной мелочи с использованием различных флокулянтов было установлено, что наилучшей флокулирующей способностью обладает флокулянт Magnafloc M-10.

Скорость осаждения флоккул в случае применения анионного флокулянта Magnafloc M-10 выше, по сравнению с другими флокулянтами и составляет в зависимости от расхода от 0,77 до 1,27 см/мин (см. таблицу). Это, возможно, объясняется величиной адсорбции на угольной поверхности флокулянтов, поскольку выбранные флокулянты имеют различную молекулярную массу и различные характеристики иона в сополимерах акриламида.



Зависимость высоты осветленного слоя от времени процесса флокуляции угля

Исследованием установлено, что анионные флокулянты более эффективны по сравнению с катионными. Это объясняется тем, что анионные флокулянты наиболее эффективны для обработки положительно заряженных дисперсий. Катионные флокулянты наиболее эффективны для обработки отрицательно заряженных дисперсий. Уголь является электроположительным, что и обеспечивает повышенную адсорбцию анионных флокулянтов на поверхности угля и его активную флокуляцию (см. таблицу).

Использование анионного флокулянта ВПК-402 обеспечивает пониженную скорость осаждения угля по сравнению с Magnafloc M-10, что объясняется пониженной его молекулярной массой (см. таблицу). Такие же закономерности получены при использовании катионного флокулянта КСП-202 по сравнению с анионным флокулянтом Magnafloc M-10. Увеличение молекулярной массы Magnafloc M-10 обуславливает возможность больших макромолекул связывать большее число частиц в крупные хлопья посредством полимерных мостиков между частицами.

Скорость осаждения угля (см/мин) при различной концентрации, строении и молекулярной массе флокулянта

Флокулянт	Тип	Молекулярная масса	Скорость осаждения, см/мин, при расходе флокулянта			
			2 г/т	4 г/т	8 г/т	10 г/т
M-10	Анионный	18 млн	0,77	0,87	1,33	1,27
Технофлок-ТЛ 1597	Катионный	5000	0,37	0,33	0,4	0,33
M-525	Анионный	10 млн	0,5	0,5	0,53	0,43
ВПК-402	Катионный	300 000	0,43	0,6	0,7	0,67
КСП-202	Катионный	от 10 000 до 1 млн	0,67	0,73	0,67	0,5
M-345	Анионный	15 млн	0,53	0,6	0,77	0,67
M-380	Катионный	14 млн	0,57	0,6	0,67	1,06

## Выводы

В работе изучено влияние синтетических флокулянтов Magnafloc M-10, M-380, Технофлок-ТЛ1597, ВПК-402, КСП-202 на скорость осаждения угольных зерен. Установлено, что для повышения скорости осаждения угольных зерен необходимо использовать анионный флокулянт Magnafloc M-10, который обеспечивает наиболее высокую скорость осаждения по сравнению с другими типами флокулянтов. Это объясняется наиболее высокой его молекулярной массой, что обуславливает возможность больших макромолекул связывать большее число частиц в крупные хлопья посредством полимерных мостиков между частицами.

Исследованием установлено, что анионные флокулянты более эффективны по сравнению с катионными. Это объясняется тем, что анионные флокулянты наиболее эффективны для обработки положительно заряженных дисперсий. Катионные флокулянты наиболее эффективны для обработки отрицательно заряженных дисперсий. Уголь является электроположительным, что и обеспечивает повышенную адсорбцию анионных флокулянтов на поверхности угля и его активную флокуляцию.

## Сведения об авторах

**Петухов Василий Николаевич** – д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: chief.petuhov2013@yandex.ru

**Погуца Светлана Сергеевна** – студентка, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: anya-poguca@yandex.ru

## INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

### INFLUENCE RESEARCH FLOKULYANTOV OF VARIOUS ELEMENT STRUCTURE AND THE STRUCTURE ON EFFICIENCY OF THE CONDENSATION OF COAL PULPS

**Petukhov Vasily Nikolaevich** – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: chief.petuhov2013@yandex.ru

**Pogutsa Svetlana Sergeevna** – Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: anya-poguca@yandex.ru

**Abstracts.** In work action of anion and cationic flokulyant at sedimentation of coal pulps is considered. High efficiency of anion flokulyant of the increased molecular weight is established. It is established that the speed of sedimentation of coal is defined by the molecular weight, structural features of molecules of flokulyant. The highest speed of sedimentation of coal is established for anion flokulyant of Magnafloc.

**Keywords:** coal, flokula, molecular mass, structure of flokulyant, anion and cationic flokulyanta, coal sedimentation speed.



УДК 662.741.3.022:622.765

Петухов В.Н., Бычкова А.В., Гунина Е.В.

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В КАЧЕСТВЕ РЕАГЕНТА-МОДИФИКАТОРА ПРИ ФЛОТАЦИИ КАМЕННОУГОЛЬНОЙ МЕЛОЧИ

*Аннотация.* Исследовано влияние высокомолекулярного соединения ПАВ-2 на показатели флотуемости угольной мелочи класса -0,5 мм. Установлены технологические показатели процесса флотации, позволяющие получать концентрат, удовлетворяющий требованиям коксохимического производства.

*Ключевые слова:* флотация, реагент-модификатор, реагентный режим, эффективность флотации.

Использование добываемых углей, как правило, ограничивается их сжиганием в энергетических установках или технологической переработкой. Из всех методов технологической переработки углей самое широкое распространение получило коксование. Кокс используется при восстановительных процессах в цветной и черной металлургии, в производстве искусственных абразивных материалов и в химической переработке. Для получения кокса, удовлетворяющего требованиям доменного производства, исходный уголь должен обладать не только высокими показателями механической прочности, но и иметь пониженную зольность.

Ископаемые угли в большей или меньшей степени содержат минеральные включения, количество которых определяется условиями углеобразования и добычи. В большинстве добываемое на угольных предприятиях сырье содержит минеральных примесей более 12%, что делает затруднительным или вообще непригодным использование угля в технологических целях.

Увеличение зольности добываемых коксующихся углей связано с повышением затрат при их подготовки к коксованию, расходом кокса и флюсов при производстве чугуна и снижением производительности доменных печей, так как кокс, полученный из рядовых углей, имеет низкое качество: высокую зольность, малую прочность, сниженное содержание углерода. Поэтому обогащение углей является обязательной и неотъемлемой стадией в подготовке их к коксованию.

Все процессы промышленного обогащения углей основаны на использовании различий в тех или иных физических и физико-химических свойствах минералов. Из общего количества обогащаемых углей отсадкой обогащают свыше 50%, в тяжелых средах – около 25%, флотацией – около 11%, пневматической сепарацией – до 9% и другими способами – 5%.

В связи с развитием механизации горных работ, в добываемом угле систематически повышается содержание классов менее 0,5 мм. В настоящее время наиболее эффективным способом обогащения тонких классов углей является флотация, которая стала од-

ним из основных технологических процессов углеобогажительных фабрик.

Реагентный режим является основным фактором, определяющим полноту извлечения угольных частиц и селективность флотации. Поскольку среди других способов обогащения углей, флотационный является самым дорогим, то использование научно разработанного реагентного режима при флотации углей позволяет не только получать концентрат, удовлетворяющий требованиям, предъявляемым коксохимическими предприятиями, но и снизить себестоимость процесса.

В последнее время в исследованиях, направленных на улучшение флотации угольных частиц за счет совершенствования реагентного режима, много внимания уделяется использованию дополнительных реагентов – модификаторов, представляющих собой ПАВ различного элементного состава и строения. Применение модификаторов позволяет изменить физико-химические свойства поверхности угольных частиц, обуславливающих изменение селективности процесса флотации, а также снизить расход основных реагентов, увеличивая при этом экологическую безопасность флотационного метода обогащения [1, 2]. Введение в процесс флотации каменных углей реагентов-модификаторов гетерополярного типа перед реагентом-собирателем способствует увеличению адсорбции аполярных собирателей на угольной поверхности, способствуя повышению гидрофобизации угольных зерен и их флотуемости [3].

В данной работе проводились исследования по разработке нового реагентного режима флотации углей с использованием полимерных соединений. В качестве исходного продукта использовалась угольная мелочь классом -0,5 мм с обогатительной фабрики ЗАО «Чертинская».

При флотации угольной мелочи были исследованы следующие реагенты:

- В качестве реагента-собирателя был использован технический продукт нефтепереработки – термогазойль, в групповой химический состав которого входит смесь углеводородов различных классов.

- В качестве реагента-вспенивателя – экофол 440S, содержащий в групповом химическом составе



смесь кислородсодержащих химических соединений различных молекулярных структур.

- Дополнительный реагент-модификатор ПАВ 2.

С целью повышения выхода концентрата и снижения потерь органической массы углей с отходами в работе исследовалось влияние использования дополнительного реагента-модификатора ПАВ2. Подача модификатора в процесс флотации производилась перед собирателем.

Для выяснения влияния ПАВ2 на эффективность процесса флотации, расход модификатора изменялся в пределах от 1,67 до 10 г/т. Расход собирателя и вспенивателя для всех опытов был одинаковым и составлял 1,16 и 0,133 кг/т соответственно.

Исследованием установлено, что при флотации угольной мелочи с добавлением ПАВ2 в количестве 1,67 г/т выход концентрата увеличивается с 72,3 до 75,4%. Увеличение расхода модификатора до 10 г/т вызывает снижение выхода концентрата до 72,7% (см. таблицу).

Влияние расхода модификатора ПАВ2 на эффективность процесса флотации угля

Собиратель	Вспениватель	Модификатор	Выход концентрата, %	Извлечение горючей массы в концентрат, %
Термогазойль	Экофол 440 S	-	72,3	80,0
Термогазойль	Экофол 440 S	ПАВ(1,67 г/т)	75,4	83,0
Термогазойль	Экофол 440 S	ПАВ(10 г/т)	72,7	78,8

**Сведения об авторах**

**Петухов Василий Николаевич** – д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: chief.petuhov2013@yandex.ru

**Бычкова Анастасия Владимировна** – студентка гр. МХТБ-11, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Гунина Екатерина Валентиновна** – студентка гр. МХТБ-11, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: katuha1493@mail.ru

**Список литературы**

1. Сирченко А.С. Снижение загрязнения окружающей среды аполиарными реагентами при флотации углей за счет использования реагентов модификаторов // Химия и химическая технология в XXI веке: тез. VII всерос. науч.-практ. конф. студентов и аспирантов ; Томск. гос. политехн. ун-т. Томск, 2006. С. 229-231.
2. Сирченко А.С., Петухов В.Н. Снижение загрязнения окружающей среды при флотации каменных углей путем разработки новых реагентных режимов // Проблемы повышения экологической безопасности производственно-технических комплексов промышленных регионов : сб. науч. трудов всерос. конф. / под ред. В.Д. Черчинцева ; Магнитогорск. гос. техн. ун-т. Магнитогорск, 2004. С. 135-138.
3. Преображенский Б.П., Топоркова Н.И. Совершенствование реагентного режима флотации угольных шламов // Кокс и химия. 1983. № 6. С. 11-13.

**INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH**

**APPLICATION OF POLYMERIC CONNECTIONS AS A REAGENT-MODIFIER DURING FLOTATION OF COAL CHANGE**

**Petukhov Vasilii Nikolaevich** – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: chief.petuhov2013@yandex.ru

**Bichkova Anastasiya Vladimirovna** – Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University.

**Gunina Ekaterina Valentinovna** – Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: katuha1493@mail.ru

*Abstracts.* Influence of high molecular connection is investigational PAV-2 on the indexes of flotability of coal change of class - 5mm. Technological indicators of process of flotation the sflokulirovannykh of the coals, allowing to receive the concentrate meeting requirements of coke-chemical production are established.

*Keywords:* flotation, reagent – the modifier, groupchemical composition, efficiency of flotation.

## References

1. Sirchenko A.S. Decrease in environmental pollution by apolyarny reagents at flotation of coals due to use of reagents of modifiers. Chemistry and chemical technology in the XXlth century: theses. VII All-Russian scientific and practical conference of students and graduate students, Tomsk State Polytechnical University. Tomsk, 2006, pp. 229-231.
2. Petukhov V.N., Sirchenko A.S. Decrease in environmental pollution at flotation of coals by development of the new reagent modes. *Problemy povysheniya ehkologicheskoy bezopasnosti proizvodstvenno-tekhnicheskikh kompleksov promyshlennykh regionov* [Problems of increase of ecological safety technological complexes of industrial regions. Ed. V.D. Cherkintcevs], Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk, 2004, pp. 135-138.
3. Preobragenskiy B.P., Toporkova N.I. Improvement of the reagent mode of flotation of coal slimes. *Coke and Chemistry*. 1983, no. 6, pp. 11-13.



УДК 662.74:622.765

Петухов В.Н., Бычкова А.В., Гунина Е.В.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПАВ-1 НА ПОКАЗАТЕЛИ ФЛОТИРУЕМОСТИ УГЛЯ

*Аннотация.* Исследована флотационная активность реагента-модификатора ПАВ-2 на угольной мелочи класса - 0,5 мм. Установлены технологические показатели процесса флотации, позволяющие получать концентрат, удовлетворяющий требованиям коксохимического производства.

*Ключевые слова:* флотация, реагент-модификатор, реагентный режим, эффективность флотации.

Качественные характеристики добываемого, перерабатываемого и потребляемого угля непрерывно изменяются. Ископаемые угли в большей или меньшей степени содержат минеральные включения, которые ухудшают качество в последующем получаемого кокса. В большинстве добываемое на угольных предприятиях сырье содержит минеральных примесей более 15%, что делает затруднительным или вообще непригодным использование угля в технологических целях. Увеличение зольности коксующихся углей связано с повышением затрат при их подготовки к коксованию, расходом кокса и флюсов при производстве чугуна и снижением производительности доменных печей, так как кокс, полученный из рядовых углей, имеет низкое качество: высокую зольность, малую прочность, сниженное содержание углерода.

В связи с этим угли перед коксованием отправляются на обогащение. Все процессы промышленного обогащения углей основаны на использовании различий в тех или иных физических и физико-химических свойствах минералов. При этом не происходит никакого изменения химического состава горючей массы топлива. Наиболее эффективным методом обогащения шламов коксующихся углей является процесс флотации, который подразделяется на пенную, масляную и пленочную. Следует отметить, что широкое распространение получила лишь пенная флотация, отличающаяся высокой производительностью и эффективностью и основанная на значительном различии смачиваемости поверхности частиц угля и породы [1]. Существенное влияние на показатели обогащения углей во флотационном процессе оказывает реагентный режим.

Основное внимание при разработке новых реагентных режимов и совершенствовании существующих, как правило, уделяется изысканию эффективных и селективно действующих флотационных реагентов. Одной из причин этого является отсутствие необходимости строительства и введения в эксплуатацию новых или модернизации существующих основных средств флотационных отделений углеобогажительных фабрик при переходе на новые реагентные режимы.

Поскольку среди других способов обогащения углей флотационный является самым дорогим, то использование научно-разработанного реагентного режима при флотации углей позволяет не только получать концентрат, удовлетворяющий требованиям, предъявляемым коксохимическими предприятиями, но и снизить себестоимость процесса.

В последнее время в исследованиях, направленных на улучшение флотации угольных частиц за счет совершенствования реагентного режима, много внимания уделяется использованию дополнительных реагентов, таких как модификаторы. Применение модификаторов позволяет изменить физико-химические свойства поверхности угольных частиц, повысить селективность процесса, а также снизить расход основных реагентов, увеличивая при этом экологическую безопасность флотационного метода обогащения [2, 3]. Введение в процесс флотации каменных углей реагентов-активаторов гетерополярного типа перед реагентом-собирателем способствует увеличению адсорбции аполярных собирателей на угольной поверхности, обуславливающих гидрофобизацию поверхности [4].

В данной работе проводились исследования по изучению влияния использования реагента-модификатора на показатели флотации угольной мелочи классом -0,5 мм ЦОФ «Чергинская».

При флотации угольной мелочи были исследованы следующие реагенты:

- В качестве реагента-собираателя был использован технический продукт нефтепереработки – термогазойль, содержащий в групповом химическом состав смесь углеводородов различных классов.

- В качестве реагента-вспенивателя – эофол 440S, групповой химический состав которого представлен смесью кислородсодержащих химических соединений различной молекулярной массы и строения.

- Дополнительный реагент-модификатор ПАВ-1.

Подача модификатора в процесс флотации производилась перед собирателем. Расход модификатора изменялся в пределах от 1,67 до 3,33 г/т для выяснения влияния расхода ПАВ-1 на эффективность процесса флотации. Расход собирателя и вспенивателя для всех опытов был одинаковым и составлял 1,16 кг/т собирателя – термогазойль и 0,132 кг/т вспенивателя – эофол 440S.

Исследованием установило, что при флотации угольной мелочи с добавлением ПАВ-1 в количестве 1,67 г/т приводит к увеличению выхода концентрата с 75,7 до 77,0%, дальнейшее увеличение расхода до 3,33 г/т вызывает снижение выхода концентрата до 71% (см. таблицу). При повышении расхода реагента-модификатора происходит полимолекулярная адсорбция, приводящая к гидрофиллизации угольной поверхности, обуславливающей снижение флотируемости углей.

Результаты проведенных исследований указывают на возможность повышения технологических показателей флотации угольной мелочи при предварительной подаче в процесс высокомолекулярных

поверхностно-активных соединений. Положительный эффект при их использовании определяется строением молекул реагента-модификатора и его расхода. Таким образом, предварительная подача реагента-модификатора позволяет увеличить извлечение горючей массы в концентрат на 1,3% при равном расходе реагента-собираателя без существенного увеличения его зольности.

Влияние расхода модификатора ПАВ-1 на эффективность процесса флотации

Собираатель	Вспениватель	Модификатор	Выход концентрата, %	Извлечение горючей массы, %
Термогазойль	Эофол 440 S	-	75,7	83,1
Термогазойль	Эофол 440 S	ПАВ(1,67 г/т)	77,0	84,4
Термогазойль	Эофол 440 S	ПАВ(3,33 г/т)	71,0	78,2

**Список литературы**

1. Митронов Д.В. Введение в химию и технологию переработки угля. Якутск, 2001. 121 с.
2. Сирченко А.С. Снижение загрязнения окружающей среды аполиарными реагентами при флотации углей за счет использования реагентов модификаторов // Химия и химическая технология в XXI веке : тез. VII всерос. науч.-практ. конф. студентов и аспирантов ; Томск. гос. политехн. ун-т. Томск, 2006. С. 229-231.
3. Петухов В.Н., Сирченко А.С. Снижение загрязнения окружающей среды при флотации каменных углей путем разработки новых реагентных режимов // Проблемы повышения экологической безопасности производственно-технических комплексов промышленных регионов : сб. науч. трудов всерос. конф. / под ред. В.Д. Черчинцева ; Магнитогорск. гос. техн. ун-т. Магнитогорск, 2004. С. 135-138.
4. Топоркова Н.И., Преображенский Б.П. Совершенствование реагентного режима флотации угольных шламов // Кокс и химия. 1983. № 6. С. 11-13.

**Сведения об авторах**

**Петухов Василий Николаевич** – д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: chief.petuhov2013@yandex.ru

**Бычкова Анастасия Владимировна** – студентка гр. МХТБ-11, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Гунина Екатерина Валентиновна** – студентка гр. МХТБ-11, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: katuha1493@mail.ru

**INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH**

**RESEARCH OF INFLUENCE OF HIGH MOLECULAR CONNECTION PAV-1 ON THE INDEXES OF FLOTABILITY OF COAL**

**Petukhov Vasilij Nikolaevich** – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: chief.petuhov2013@yandex.ru

**Bichkova Anastasiya Vladimirovna** – Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University.

**Gunina Ekaterina Valentinovna** – Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: katuha1493@mail.ru

**Abstracts.** Flotation activity of reagent of reagents modifier on the coal change of class -5mm. Technological indicators of process of flotation the sflokulirovannykh of the coals, allowing to receive the concentrate meeting requirements of coke-chemical production are established.

**Keywords:** flotation, reagent – the modifier, groupchemical composition, efficiency of flotation

#### References

1. Mironov D.V. Introduction to chemistry and technology of processing of coal. Yakutsk, 2001. 121 p.
2. Sirchenko A.S. Decrease in environmental pollution by apolyarny reagents at flotation of coals due to use of reagents of modifiers. Chemistry and chemical technology in the XXIth century: theses. VII All-Russian scientific and practical conference of students and graduate students, Tomsk State Polytechnical University. Tomsk, 2006, pp. 229-231.
3. Petukhov V.N., Sirchenko A.S. Decrease in environmental pollution at flotation of coals by development of the new reagent modes. *Problemy povysheniya ehkologicheskoy bezopasnosti proizvodstvenno-tehnicheskikh kompleksov promyshlennykh regionov* [Problems of increase of ecological safety technological complexes of industrial regions. Ed. V.D. Cherkintcevs]. Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk, 2004, pp. 135-138.
4. Preobragenskiy B.P., Toporkova N.I. Improvement of the reagent mode of flotation of coal slimes. *Coke and Chemistry*. 1983, no. 6, pp. 11-13.



УДК 622.785.5

Ганин Д.Р., Дружков В.Г., Паньчев А.А., Шаповалов А.Н.

## ОБЗОР И АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РАСЧЁТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АГЛОМЕРАЦИОННОЙ МАШИНЫ

**Аннотация.** В статье рассмотрены и проанализированы математические модели расчёта производительности конвейерных агломерационных машин. Выявлены недостатки и ограничения существующих математических моделей для определения производительности агломерационных машин. Эти недостатки зависят от ряда технологических факторов, часто взаимосвязанных: скорости движения тележек агломерационной машины, вертикальной скорости спекания шихты, скорости фильтрации воздуха в слое агломерационной шихты. На основе выявленных недостатков и ограничений существующих математических моделей расчёта производительности агломерационных машин для разработки математического описания зависимости производительности агломерационной машины от параметров агломерационного процесса был предложен следующий базовый комплекс технологических факторов: общее газодинамическое сопротивление слоя шихты; высота слоя шихты на агломерационной машине; насыпная плотность агломерационной шихты; гранулометрический состав агломерационной шихты (крупность спекаемого материала, выраженная через эквивалентный диаметр окомкованной шихты); продолжительность спекания шихты; температура агломерационной шихты; влажность агломерационной шихты; доля возврата/выход годного; содержание углерода в агломерационной шихте; содержание тонкозернистых концентратов в агломерационной шихте.

**Ключевые слова:** математическая модель; агломерационная шихта; удельная производительность агломерационной машины; газодинамическое сопротивление шихты; высота слоя шихты; насыпная плотность шихты; крупность материала; продолжительность спекания.

Производительность агломашин зависит от многих взаимосвязанных технологических факторов. В настоящее время ввиду сложности и недостаточной изученности этих связей установлены аналитические соотношения только между некоторыми параметрами процесса агломерации.

В работе [1] используют формулу расчёта производительности (т/ч) агломашин по шихте, как для конвейерного транспортирующего устройства:

$$G_{ш} = 60 \cdot 10^{-3} \cdot B \cdot H_{ш} \cdot \rho_{ш}^{ш} \cdot V_{л}, \quad (1)$$

где  $B$  – ширина тележек (паллет) машины, м;

$H_{ш}$  – высота слоя шихты на ленте (без постели), м;

$V_{л}$  – скорость движения тележек, м/мин;

$\rho_{ш}^{ш}$  – насыпная плотность шихты, кг/м<sup>3</sup>.

Приняв скорость движения тележек  $V_{л} = L / \tau$ , мм/мин, и скорость спекания шихты  $V_{с} = 1000 H_{ш} / \tau$ , в работе [1] для расчёта производительности агломашин по шихте используют формулу, т/ч:

$$G_{ш} = 60 \cdot 10^{-6} \cdot L \cdot B \cdot \rho_{ш}^{ш} \cdot V_{с} = 60 \cdot 10^{-6} \cdot S \cdot \rho_{ш}^{ш} \cdot V_{с}, \quad (2)$$

а для её удельного значения, т/(м<sup>2</sup>·ч), формулу

$$g_{ш} = 60 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_{ш}^{ш} \cdot V_{с}, \quad (3)$$

где  $L$  – длина агломашин, м;

$\tau$  – время спекания, мин;

$S$  – площадь агломашин, м<sup>2</sup>.

Согласно работе [2] расчёт производительности агломашины получается точнее, если для этого использовать выражение, кг с.ш. / (м<sup>2</sup>·с):

$$g_{\text{ш}} = w_0 / V_g, \quad (4)$$

где  $w_0$  – средняя по длине агломашины скорость засасывания воздуха в слой, м/с;

$V_g$  – удельный расход воздуха на агломерацию, м<sup>3</sup>/кг спекаемой шихты (с.ш.).

Среднюю по длине агломашины скорость засасывания воздуха в слой  $w_0$  и удельный расход воздуха на агломерацию  $V_g$  определяют на основании результатов экспериментов, полученных при агломерации данного типа шихты. Тогда формула для расчёта производительности агломашины по годному агломерату имеет вид, т/ч:

$$G_a = 3,6 \cdot w_0 \cdot F_{\text{сн}} \cdot \varepsilon_{\text{сн}} \cdot \varepsilon_{\text{аггл}} / V_g, \quad (5)$$

где  $F_{\text{сн}}$  – площадь спекания, м<sup>2</sup>;

$\varepsilon_{\text{сн}}$  – относительный выход спёка, кг сп. / кг с.ш.

( $\varepsilon_{\text{сн}} = 0,85 \div 0,90$  кг сп. / кг с.ш.);

$\varepsilon_{\text{аггл}}$  – выход годного агломерата из спёка за вычетом возврата, кг агл. / кг сп. ( $\varepsilon_{\text{аггл}} = 0,65 \div 0,70$  кг агл. / кг сп.).

Возможны два варианта использования этой формулы. В первом считают, что в период зажигания происходит только образование агломерационного спёка на поверхности слоя, а перемещение зоны формирования агломерата начинается после выхода слоя из-под горна. Тогда за площадь спекания принимают общую площадь просасывания за вычетом площади зажигательного горна. Во втором считают, что агломерация идёт на всей площади просасывания, тогда величину удельного расхода воздуха на агломерацию  $V_g$  несколько увеличивают. При этом удельный расход воздуха на агломерацию  $V_g$ , найденный в опыте по результатам разовой пробы газа, является «мгновенным» значением для какого-то момента основного периода агломерации и не учитывает расход воздуха на зажигание или «допекание» рудного материала в хвостовой части агломашины.

В работе [3] производительность агломашины дана в следующем виде:

$$M_{\text{аггл}} = M_a + M_g + M_n, \quad (6)$$

где  $M_{\text{аггл}}$  – массовый расход аглоспёка, т/ч;

$M_a$  – массовый расход годного агломерата, т/ч;

$M_g$  – массовый расход возврата, т/ч;

$M_n$  – массовый расход постели, т/ч.

Удельная производительность аглоленты  $m$  равна

$$m = \rho_{\text{ш}} \cdot w_h \cdot k_i \cdot k_2, \quad (7)$$

где  $\rho_{\text{ш}}$  – средняя насыпная плотность шихты;

$w_h$  – вертикальная скорость спекания;

$k_i$  – выход аглоспёка из шихты по сравнению с массой уложенной шихты с учётом выделения летучих компонентов при спекании, равный

$$k_i = (k_1 + k_3 \cdot C) / [W + C + (W + C + 1) \cdot (k_1 - 1) \cdot b + (k_1 - 1 + k_3 \cdot C - W - C) \cdot a], \quad (8)$$

где  $k_1$  – коэффициент потери летучих компонентов, включая и пылеунос;

$k_3$  – коэффициент зольности топлива;

$W$  – влажность шихты;

$C$  – содержание углерода в шихте;

$a = M_n / M_{\text{аггл}}$  – подача возврата в постель;

$b = M_g / M_{\text{аггл}}$  – подача возврата в шихту;

$k_2 = M_a / M_{\text{аггл}} = 1 - b - a$  – выход годного из аглоспёка.

Согласно работе [1] связь между удельными производительностями агломашины по шихте  $g_{\text{ш}}$  и агломерату  $g_a$ , т/(м<sup>2</sup>·ч) можно установить, вводя в расчёт коэффициент выхода годного агломерата  $k_a$ , доли:

$$g_a = k_a \cdot g_{\text{ш}}. \quad (9)$$

Откуда из (3)

$$k_a = 16,667 \cdot g_a / (\rho_{\text{ш}}^{0,3} \cdot \nu_c). \quad (10)$$

По результатам обработки статистических данных за 1975, 1980, 1989 и 1990 гг. [4] (рис. 1) предложено коэффициент выхода агломерата из шихты описывать уравнением

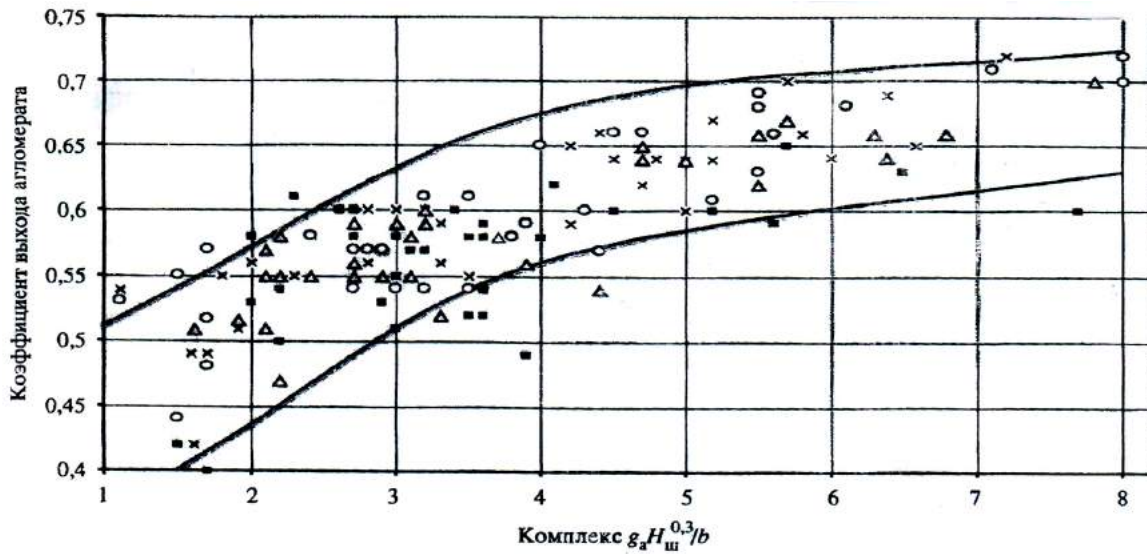
$$k_a = 0,43 \cdot (g_a \cdot H_{\text{ш}}^{0,3} / b) \pm 0,05, \quad (11)$$

где  $b$  – количество возврата в общей массе шихты, доли.

Приравнявая (10) и (11) и решая уравнение относительно  $g_a$ , получают:

$$g_a = (0,0258 \cdot \nu_c \cdot \rho_{\text{ш}}^{0,3} \cdot H_{\text{ш}}^{0,075} / b^{0,25})^{1,333}, \text{ т/(м}^2 \cdot \text{ч)}. \quad (12)$$

Выражение (11) показывает значимость величин  $H_{\text{ш}}$ ,  $b$ ,  $g_a$  в формировании  $k_a$ . Для повышения производительности по годному агломерату необходимо уменьшать долю возврата в шихте, но это ухудшает газопроницаемость слоя шихты, снижает производительность машины по шихте и  $k_a$ . Поэтому существует оптимум производительности машины по агломерату от доли возврата в шихте.



x — 1989 г.; O — 1990 г.; Δ — 1980 г.; ■ — 1975 г.

Рис. 1. Зависимость коэффициента выхода агломерата от технологического комплекса  $g_a H_{ш}^{0,3} / b$  [1]

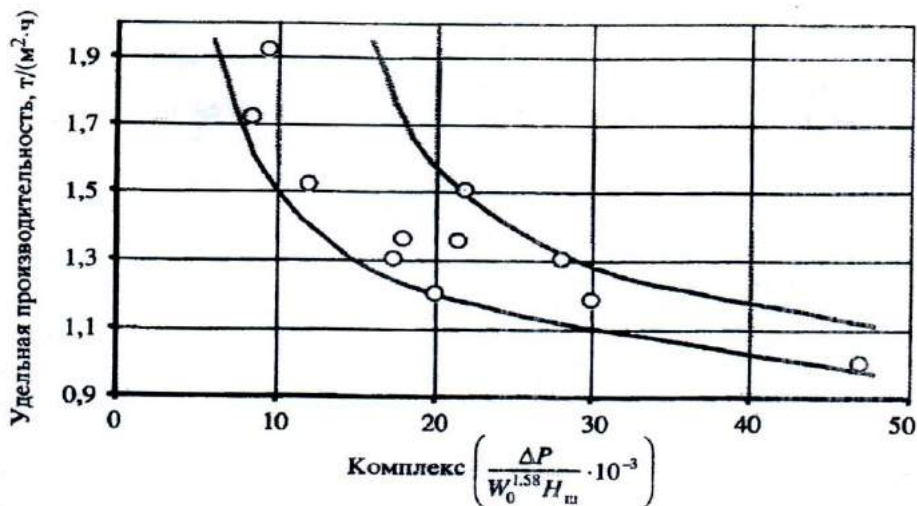


Рис. 2. Влияние газодинамических характеристик слоя на удельную производительность агломашины [1]

Сопоставление статистических данных по удельной производительности агломашин,  $t/(m^2 \cdot ч)$ , с их газодинамическими характеристиками, полученными в результате испытаний [5], позволило авторам исследования [1] установить связь (рис. 2) между этими параметрами:

$$g_a = f\left(10^{-3} \cdot \Delta P / (w_0^{1,58} H_{ш})\right), \quad (13)$$

где  $\Delta P$  – среднее по длине машины разрежение под колосниками,  $H/m^2$ ;

$w_0$  – средняя за процесс спекания скорость фильтрации газов через слой,  $m/c$ , а комплекс:

$$A = \Delta P / (w_0^{1,58} \cdot H_{ш}), \quad (14)$$

который характеризует структуру и газодинамическое сопротивление слоя на машине в целом за весь период спекания. Степень при  $w_0$ , равная 1,58, свидетельствует о том, что газодинамический режим при агломерации относится к переходным режимам. По данным рис. 2 возможно установить связь между удельной производительностью агломашины и средней скоростью фильтрации газов.

По данным исследования [6] связь между скоростью спекания и скоростью фильтрации может быть описана выражением:

$$v_c = a \cdot w_o^6. \quad (15)$$

Величины «*a*» и «*в*» являются функциями гранулометрического состава и теплофизических свойств шихты, параметров газового потока, скорости и полноты выгорания углерода и других факторов (по экспериментальным данным:  $a = 15 \div 60$ ,  $в = 0,5 \div 1,1$ ).

Связь (15) может быть выражена и через удельный расход воздуха:

$$v_c = 6 \cdot 10^4 \cdot w_o / q_v. \quad (16)$$

Таким образом, скорость фильтрации зависит от газодинамического состояния слоя и возможностей эксгаустера и определяет скорость спекания, то есть производительность машины.

В работе [6] удельная производительность агломашин по годному агломерату, т/(м<sup>2</sup> · ч), определяется формулами:

$$P = 0,0006 \cdot v \cdot \gamma_{ш} \cdot k \cdot \beta \quad (17)$$

или

$$P = 0,0006 \cdot v \cdot \gamma_a \cdot \Delta \cdot \beta, \quad (18)$$

где *v* – вертикальная скорость спекания, отнесённая к начальной высоте слоя, мм/мин;

*k* – выход аглоспёка из шихты, т/м<sup>3</sup>;

$\gamma_{ш}$  и  $\gamma_a$  – соответственно объёмная масса шихты и аглоспёка, т/м<sup>3</sup>;

$\Delta$  – коэффициент усадки (отношение высоты слоя после спекания к первоначальной);

$\beta$  – выход годного, % от аглоспёка.

Формула (18) показывает влияние возврата на производительность агломашин. Увеличение удельной производительности может быть достигнуто повышением скорости спекания *v* и выхода годного  $\beta$ . Снижение выхода годного (повышение содержания возврата в шихте) ведёт к увеличению скорости спекания. Произведение  $0,0006v\gamma_a\Delta$  – валовая производительность агломашин по аглоспёку, которая также зависит от содержания возврата в шихте, связанного с выходом годного зависимостью:

$$\beta = 100 - \frac{100 \cdot P_{ш} \cdot \varphi}{100 + (P_{ш} - 1) \cdot \varphi} - \psi, \quad (19)$$

где  $\varphi$  – содержание возврата в сухой шихте, %;

$\psi$  – выход из аглоспёка агломерата, предназначенного для образования постели, %;

$P_{ш}$  – удельный расход сухой шихты на 1 т аглоспёка.

Для большинства шихт, имеющих невысокое содержание летучих, зависимость (19) близка к линейной:

$$\beta = 100 - K \cdot \varphi - \psi, \quad (20)$$

где *K* – коэффициент, зависящий от содержания летучих в шихте.

Рост содержания возврата в шихте увеличивает её газопроницаемость, снижает её кажущуюся теплоёмкость из-за уменьшения величины оптимальной влажности и содержания сырого известняка. Скорость спекания при этом возрастает из-за снижения теплоёмкости шихты в большей мере, чем скорость фильтрации воздуха. Содержание и температура возврата при определённой схеме подачи его в шихту определяют температуру шихты перед спеканием, которая существенно влияет на газопроницаемость слоя.

Экспериментальное изучение зависимости вертикальной скорости спекания от содержания возврата для ряда типичных шихт показало, что в интервале содержания возврата 0–50% она близка к линейной и может быть описана формулами вида

$$v = v_0 + a \cdot \varphi, \quad (21)$$

где *v* – вертикальная скорость спекания при данном содержании возврата в шихте, мм/мин;

$v_0$  – вертикальная скорость спекания шихты без возврата, мм/мин;

*a* – угловой коэффициент.

Добавка в шихту возврата увеличивает её объёмную массу, в результате чего возрастает объёмная масса аглоспёка в пироге. Эту зависимость описывают формулами вида

$$\gamma = \gamma_0 + b \cdot \varphi, \quad (22)$$

где  $\gamma_a$  – объёмная масса аглоспёка при данном содержании возврата, т/м<sup>3</sup>;

$\gamma_o$  – объёмная масса аглоспёка из шихты без возврата, т/м<sup>3</sup>;

*b* – угловой коэффициент.

Подставляя в формулах (21) и (22) вместо  $\varphi$  соответствующее значение  $\beta$  из формулы (20), получают:

$$v = v_0 + a \cdot (100 - \beta - \psi) / K, \quad (23)$$

$$\gamma_a = \gamma_o + b \cdot (100 - \beta - \psi) / K. \quad (24)$$

Подставив (23) и (24) в (18), получают уравнение кубической параболы:

$$P = \frac{0,0006\Delta ab}{K^2} \beta^3 - 0,0006\Delta \left[ \frac{a}{K} \left( \gamma_o + \frac{b}{K} 100 - \frac{b}{K} \psi \right) + \frac{b}{K} \left( v_o + \frac{a}{K} 100 - \frac{a}{K} \psi \right) \right] \beta^2 + 0,0006\Delta \left( v_o + \frac{a}{K} 100 - \frac{a}{K} \psi \right) \left( \gamma_o + \frac{b}{K} 100 - \frac{b}{K} \psi \right) \beta = C_1 \beta^3 - C_2 \beta^2 + C_3 \beta. \quad (25)$$

Определить величину выхода годного  $\beta$ , соответствующую максимуму удельной производительности, можно, решив уравнение, получаемое при равен-

стве нулю первой производной функции (25). Выделение дополнительных количеств возврата способствует увеличению скорости спекания и валовой производительности по аглоспёку, но снижает выход годного. Максимуму удельной производительности по годному соответствует оптимальное сочетание двух названных факторов.

Использование дополнительных факторов, интенсифицирующих процесс, заметно сказывается на скорости спекания при низком содержании в шихте возврата. С увеличением доли возврата в шихте эффективность интенсификации в результате применения извести, подогрева, окомкования постепенно снижается. При использовании интенсификаторов увеличивается величина  $a$ , снижается величина углового коэффициента в формуле (21), кривая  $v = f(\varphi)$  становится более полой, уменьшается оптимальное содержание возврата в шихте и увеличивается максимальная производительность. Поэтому для получения максимального эффекта по производительности при использовании интенсификаторов необходимо одновременно снижать содержание возврата в шихте, если это возможно с точки зрения прочности аглоспёка.

В исследованиях [7] получены следующие формулы для расчёта удельной производительности агломашины  $W$ , кг/(м<sup>2</sup> · с):

$$W = \alpha \cdot \frac{q \cdot (h \cdot \rho)}{d} \cdot \left(\frac{v}{q}\right)^k \quad (26)$$

и

$$W = \frac{h \cdot \rho}{\tau} \cdot \left(\frac{v}{q}\right)^k, \quad (27)$$

где  $q$  – газопроницаемость шихты, м<sup>3</sup>/(с · м<sup>2</sup>);

$d$  – крупность шихты, выраженная через эквивалентный диаметр окомкованной шихты, м;

$h$  – высота слоя шихты, м;

$\rho$  – насыпная масса шихты, кг/м<sup>3</sup>;

$v$  – вертикальная скорость спекания, м/с;

$\alpha$  – коэффициент, характеризующий температурный режим зажигания шихты;

$\tau$  – продолжительность спекания шихты, с;

$k$  – показатель степени.

Формула (26) показывает, что удельная производительность агломашины  $W$  увеличивается с ростом вертикальной скорости спекания  $v$  и комплекса удельной нагрузки  $h\rho$  и с уменьшением крупности спекаемого материала  $d$ . Чем выше газопроницаемость шихты  $q$ , тем больше вертикальная скорость спекания  $v$ ; с другой стороны, газопроницаемость

шихты обратно пропорциональна высоте слоя шихты  $h$  и её насыпной массе  $\rho$ . Увеличение крупности спекаемого материала  $d$  повышает газопроницаемость шихты, но снижает удельную производительность агломашины. Величина коэффициента, характеризующего температурный режим зажигания шихты  $\alpha$ , прямо пропорциональна отдаваемому реакции количеству теплоты в единицу времени и различна при разных температурах зажигания шихты. Составляющая  $(v/q)^k$  – критериальный безразмерный комплекс, учитывающий вещественный состав спекаемого материала и другие факторы, влияющие на газопроницаемость и вертикальную скорость спекания шихты (постоянная величина для одного вида спекаемого материала при одинаковых условиях ведения процесса).

Формула (27) показывает, что удельная производительность агломашины  $W$  увеличивается с ростом вертикальной скорости спекания  $v$  и комплекса удельной нагрузки  $h\rho$  и с уменьшением продолжительности спекания  $\tau$ . Чем выше газопроницаемость, тем больше вертикальная скорость спекания  $v$ ; с другой стороны, газопроницаемость – величина обратно пропорциональная высоте слоя шихты  $h$  и её насыпной массе  $\rho$ . Увеличение продолжительности спекания  $\tau$  повышает газопроницаемость шихты, но снижает удельную производительность агломашины.

Многочисленные математические выражения для определения производительности агломаши́н имеют недостатки и ограничения, что осложняет их применение для прогнозирования производительности агломаши́н по исходным данным о составе шихты и технологии её подготовки к спеканию.

При использовании предлагаемых в работе [1] выражений (1) – (3) необходимо задаваться скоростью движения тележек агломашины или вертикальной скоростью спекания шихты, которые зависят от газодинамических характеристик и высоты спекаемого слоя, вакуума под колосниками и других факторов, что существенно снижает адекватность расчётов и может применяться только для конкретных условий.

Предлагаемые в работе [2] выражения (4), (5) требуют проведения объёмных экспериментов по определению удельного расхода воздуха на агломерацию и средней по длине агломашины скорости засасывания воздуха в слой. При этом удельный расход воздуха на агломерацию определяется составом и качеством подготовки шихты к спеканию, а средняя по длине машины скорость засасывания воздуха в слой – газопроницаемостью и высотой спекаемого слоя, величиной вакуума под колосниками.

В работе [3] для определения производительности агломашины по формуле (7) необходимо зада-



ваться вертикальной скоростью спекания шихты, определяемой скоростью фильтрации газа в слое аглошихты, удельным выходом агломерационного газа, насыпной массой сухой аглошихты, что снижает точность расчётов. При этом скорость фильтрации газа сама зависит от разрежения под колосниковой решёткой, режима движения газового потока, плотности газа, высоты и порозности слоя, эквивалентного диаметра и формы структурных элементов слоя, а сама порозность – от массового соотношения структурных элементов слоя разных диаметров, их формы и рельефа поверхности.

В работах [1, 6] для расчёта производительности агломашины по формулам (12), (17), (18), (25) необходимо задаваться вертикальной скоростью спекания шихты, скоростью фильтрации воздуха, зависящей от газодинамического состояния слоя и возможностей эксгаустера, и в свою очередь определяющей скорость спекания шихты.

В работе [7] для определения удельной производительности агломашины по выражениям (26), (27), помимо необходимости задаваться вертикальной скоростью спекания шихты, нужны данные о газопроницаемости, крупности, высоте слоя и насыпной массе шихты, коэффициенте, характеризующем тепловой режим зажигания шихты, продолжительности спекания шихты. Необходим подбор показателя степени  $k$  в критериальном безразмерном комплексе  $(v/q)^k$ .

Анализ существующих математических моделей для определения производительности агломашинок показывает, что они базируются на неподдающихся непосредственному учёту, зависящих от многочисленных технологических факторов величинах, часто взаимосвязанных: скорости движения тележек агломашины; вертикальной скорости спекания шихты; средней по длине агломашины скорости засасывания воздуха в слой; скорости фильтрации воздуха в слое аглошихты.

Учитывая выявленные недостатки математических моделей расчёта производительности агломашинок, необходима разработка математического описания зависимости производительности агломашинок от явных параметров агломерационного процесса, которые можно фиксировать в процессе производства. Такими исходными параметрами являются:

- общее газодинамическое сопротивление слоя шихты;

- высота слоя шихты, определяющая его среднее газодинамическое сопротивление;
- температура аглошихты, определяющая появление зоны переувлажнения;
- влажность аглошихты, влияющая на качество её смешивания и окомкования;
- насыпная плотность аглошихты как характеристика её состава и качества окомкования;
- гранулометрический состав аглошихты, определяющий пропускную способность агломерируемого слоя и зависящий от исходного состава шихты, продолжительности смешивания и окомкования, конструкции смесителей и окомкователей и режимов их работы, выражаемый через средневзвешенную крупность, эквивалентную по поверхности крупность, порозность слоя и др.;
- продолжительность спекания шихты;
- содержание углерода в аглошихте, определяющее характер атмосферы в зоне горения топлива, температурный уровень процесса, степень усвоения извести и кварца структурой готового агломерата, выход годного;
- доля возврата/выход годного;
- содержание тонкозернистых концентратов в аглошихте.

#### Список литературы

1. Теплотехнические методы анализа агломерационного процесса / В.И. Клейн, Г.М. Майзель, Ю.Г. Ярошенко, А.А. Авдеенко; под ред. Ю.Г. Ярошенко. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. 224 с.
2. Коротич В.И., Фролов Ю.А., Бездежский Г.Н. Агломерация рудных материалов. Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2003. 400 с.
3. Глинков Г.М., Маковский В.А. АСУ ТП в чёрной металлургии. М.: Металлургия, 1999. 310 с.
4. Обобщение опыта работы фабрик окускования МЧМ СССР. Днепропетровск: Укрспромез, 1976; 1981; 1986; 1989 – 1991.
5. Газодинамические характеристики агломерационных шихт / Л.К. Герасимов, А.Г. Журавлёва, Ю.А. Фролов и др. // Изв. вузов. Чёрная металлургия. 1984. № 12. С. 19 – 21.
6. Базилевич С.В., Вегман Е.Ф. Агломерация. М.: Металлургия, 1967. 368 с.
7. Панычев А.А., Никонова А.П. Оптимизация технологических параметров на основе математических моделей при агломерации михайловских и лебединских концентратов // Металлург. 2008. № 10. С. 48 – 51.

#### Сведения об авторах

**Ганин Дмитрий Рудольфович** – ведущий инженер по ремонту ООО «Орский вагонный завод». Тел.: (3537)23-15-06. E-mail: dmrgan@mail.ru

**Дружков Виталий Гаврилович** – канд. техн. наук, доц., институт металлургии, машиностроения и материалобработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Панычев Анатолий Алексеевич** – канд. техн. наук, доц. кафедры металлургических технологий, Новотроицкий филиал ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». E-mail: a.panychev@uralsteel.com

**Шаповалов Алексей Николаевич** – канд. техн. наук, доц. кафедры металлургических технологий, Новотроицкий филиал ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». Тел.: (3537)67-96-07. E-mail: alshapo@yandex.ru

---

*INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH*

---

**REVIEW AND ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELS FOR CALCULATING THE PERFORMANCE OF SINTERING MACHINES**

**Ganin Dmitriy Rudol'fovich** – leading engineer on repair «Orsk Railcar Factory». Phone: (3537)23-15-06. E-mail: dmr-gan@mail.ru

**Druzhkov Vitaly Gavrilovich** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor of the department of Metallurgy of ferrous metals. Nosov Magnitogorsk State Technical University.

**Panychev Anatoly Alekseevich** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor of the Metallurgical Technology department, Novotroitsk branch of the National University of Science and Technology «MISIS». E-mail: a.panychev@uralsteel.com

**Shapovalov Aleksey Nicolaevich** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor of the Metallurgical Technology department, Novotroitsk branch of the National University of Science and Technology «MISIS». Phone: (3537)67-96-07, E-mail: alshapo@yandex.ru

**Abstracts.** *Mathematical models of calculating performance sintering machines are considered and analyzed in this article. The identified gaps and limitations in existing mathematical models for calculating the performance of sintering machines were made. These disadvantages depend on a number of technological factors, often interrelated variables: speed bogies sintering machine, vertical speed of sintering mixtures, the filtration rate of air in the sintering mixture layer. Based on the identified gaps and limitations of existing mathematical models for calculating the performance of sintering machines to develop a mathematical description of performance depending on the parameters of the sintering machine sintering process the following basic set of technological factors was proposed: total gas-dynamic resistance of burden layer; height of burden layer in sintering machine; bulk density sintering mix; granulometric composition of sintering mix (the coarseness of the material being sintered, which is expressed through the equivalent diameter of the balled charge); sintering time; the temperature of sintering mix; humidity sintering mix; the share of return/ the yield of the agglomerate; the carbon content in the sintering furnace charging; the content of fine-grained concentrated in the charge.*

**Keywords:** *mathematical model; sintering-machine charge; unit productivity of the sintering machine; gas-dynamic resistance of the bed; height of the bed; bulk density of the charge; coarseness of the material; sintering time.*

**References**

1. Klein V.I., Maizel' G.M., Yaroschenko Yu.G., Avdeenko A.A. Thermal analysis of sintering. GOU VPO UGTU-UPI, Ekaterinburg, 2004, 224 p.
2. Korotich V.I., Frolov Yu.A., Bezdezhskii G.N. Sintering of ore-bearing materials. UGTU-UPI, Ekaterinburg, 2003, 400 p.
3. Glinkov G.M., Makovskii V.A. APCS in ferrous metallurgy. Metallurgiya, Moscow, 1999. 310 p.
4. Summary of work experience sinter plants of the Ministry of ferrous metallurgy of the USSR for 1975; 1980; 1985; 1988 – 1990 year. Dnepropetrovsk: UKRGIPROMEZ, 1976; 1981; 1986; 1989-1991.
5. Gerasimov L.K., Zhuravleva A.G., Frolov Yu.A. et al. Gas-dynamik characteristics of the sintering mixtures. *Izvestiya vuzov. Chemaya metallurgiya* [Trans. Iron and steel], 1984, no. 12, pp. 19 – 21.
6. Bazilevich S.V., Vegman E.F. Sintering. Metallurgiya, Moscow, 1967, 368 p.
7. Panychev A.A., Nikonova A.P. Optimizing process parameters based on mathematical models for the sintering of Mikhailovskii and Lebedinskii concentrates. *Metallurg* [Metallurgist], 2008, no. 10, pp. 48 – 51.

# МЕТАЛЛУРГИЯ ЧУГУНА

УДК 669.162.22-52

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

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ РАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДУТЯ ПО ФУРМАМ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

**Аннотация.** В результате оценки равномерности распределения дутья по фурмам доменных печей установлено, что среднее значение отклонений расходов дутья на доменной печи Б не превышало 14%. Неравномерность распределения дутья по фурмам доменных печей В и Г сохранялась и достигала 55 и 52% соответственно. Выявлены причины более равномерного распределения дутья по фурмам доменной печи Б. Обоснована необходимость внедрения систем автоматического распределения дутья по фурмам (САРД) нового поколения на современных доменных печах.

**Ключевые слова:** печь доменная, подача горячего дутья, неравномерность распределения его по фурмам, место отбора импульса для замера давления, подвод дутья к кольцевому воздухопроводу.

Контроль распределения дутья по фурмам является одним из важных элементов диагностики и управления технологическим состоянием доменной плавки. В настоящее время в России и за рубежом совершенствуются методы автоматизированного контроля и управления окружным распределением как «сверху», так и «снизу» [1, 2].

В июле 2014 г. на доменных печах Б, В, Г проводились экспериментальные исследования с целью оценки окружного газораспределения. В таблице представлены характеристики исследуемых доменных печей.

Характеристики доменных печей

Наименование параметра	Доменная печь		
	Б	В	Г
Полезный объем, м <sup>3</sup>	1381	2014	2014
Количество фурм, шт.	16	25	25
Количество чугунных леток, шт.	2	2	2
Тип загрузочного устройства	БЗУ лоткового типа, однотрактное	БЗУ лоткового типа, однотрактное	БЗУ лоткового типа, однотрактное

Стоит отметить, что оценка распределения горячего дутья по фурмам доменных печей В и Г проводилась ранее (декабрь 2013 г.). Разность расходов дутья по фурмам доменной печи В от среднего достигала 17–28%, на доменной печи Г отклонения составили 13–39% [1]. Графически распределения горячего дутья по фурмам доменных печей В и Г представлены на рис. 1.

Неравномерность распределения дутья по воздушным фурмам доменных печей В и Г сохранялась и в исследуемые периоды (с 1.07.2014 г. по 28.07.2014 г). Изменения расходов дутья доменных печей Г (при расходе 8819–16462 м<sup>3</sup>/ч) и В (при расходе 4660–13071 м<sup>3</sup>/ч), представлены на рис. 2.

Разность расходов дутья по фурмам от среднего на доменной печи Г составляла 52%, на доменной печи В достигала 55%.

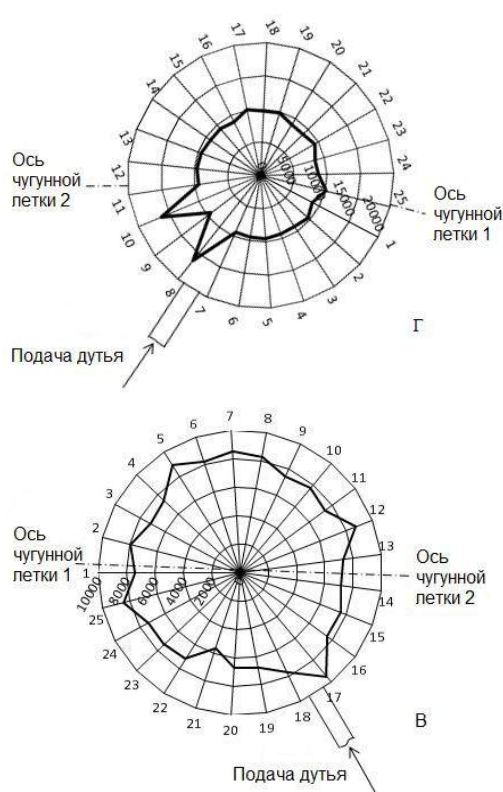


Рис. 1. Распределение горячего дутья по фурмам доменных печей Г и В (декабрь 2013)

Возможные причины неравномерного распределения дутья по фурмам на доменных печах Г и В следующие [2]:

- односторонний подвод горячего дутья к кольцевому воздухопроводу, в результате чего расход его на фурмах в секторах места ввода и диаметрально противоположного ему, как правило, выше;
- разная газопроницаемость материалов в надфурменных зонах из-за неравномерного окружного распределения шихты;

– изменение сечения фурм при зарастании их шлаком;

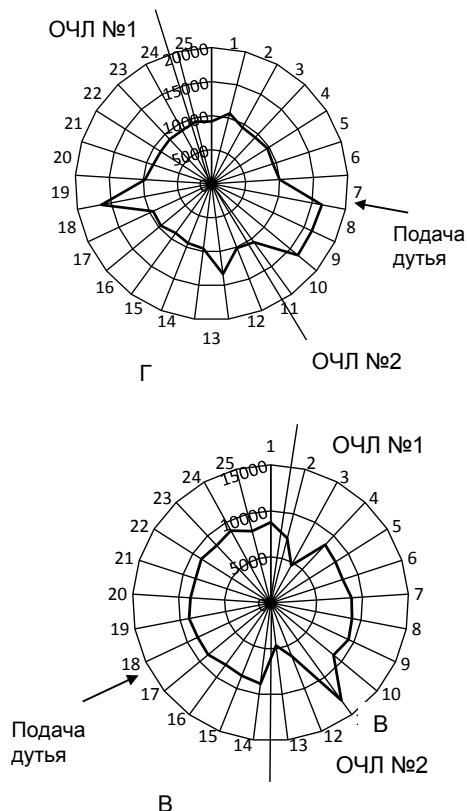


Рис. 2. Распределение горячего дутья по фурмам доменных печей Г и В с 1.07.2014 г. по 28.07.2014 г.: ОЧЛ 1, 2 – ось чугуновых леток № 1, 2

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

Таким образом, регулирование расходов дутья по фурмам является важнейшим условием эффективного управления газовым потоком улучшения использования его химической и тепловой энергий [3]. Наиболее убедительным подтверждением этого является опыт работы доменной печи Б и результаты проведенного на ней исследования в период 1.07.2014 г. по 28.07.2014 г.

Расположение фурм, леток, периферийных термопар и подвода горячего дутья к кольцевому воздухопроводу приведены на рис. 3.

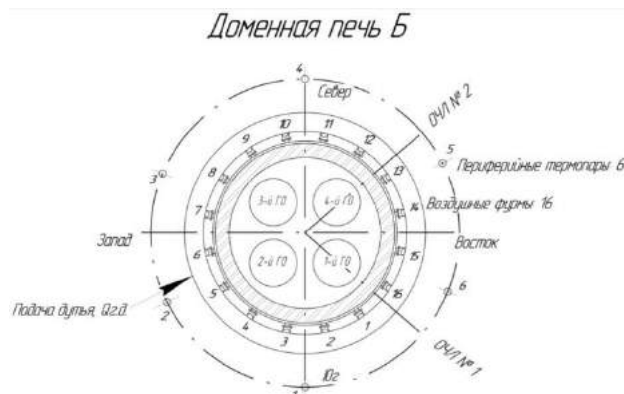


Рис. 3. Схема расположения воздушных фурм, чугуновых леток (ОЧЛ), термопар по окружности печи, газоотводов (ГО), подачи горячего дутья к кольцевому воздухопроводу (Q з.д)

Распределение дутья по воздушным фурмам, характерное для работы доменной печи в исследуемые периоды (с 1.07.2014 г. по 28.07.2014 г.) при расходах дутья на отдельные фурмы в пределах 7033–9313 м<sup>3</sup>/ч, показано на рис. 4.

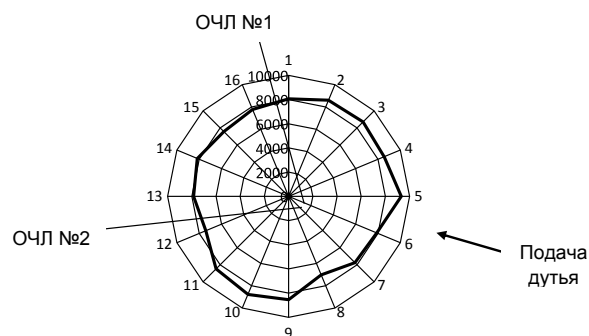


Рис. 4. Распределение горячего дутья по фурмам доменной печи Б с 1.07.2014 г. по 28.07.2014 г.: ОЧЛ 1, 2 – ось чугуновых леток № 1, 2

Подвод горячего дутья к кольцевому воздухопроводу и фурменный прибор представлены на рис. 5 и 6 соответственно.



Рис. 5. Подвод горячего дутья к кольцевому воздухопроводу: А – вид слева; Б – вид справа

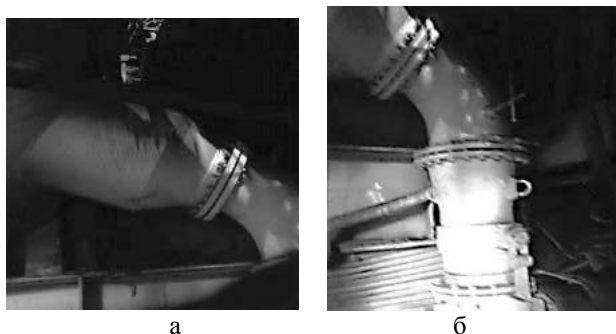


Рис. 6. Фурменный прибор: а – диффузор фурменного прибора; б – место отбора импульса для замера давления

На фурменном приборе имеется место отбора импульса для замера давления с целью определения расхода дутья на каждой фурме по формуле [3,4]

$$Q_i = k \cdot \sqrt{\Delta P_{\phi i}}, \quad (1)$$

где  $\Delta P_{\phi i}$  – перепад на фурменном колене (диффузоре)  $i$ -й фурмы;

$Q_i$  – расход дутья, м<sup>3</sup>/ч, на  $i$ -й фурме;

$k$  – коэффициент, определяемый по формуле

$$k = \frac{Q_D}{\sum_{i=1}^i \sqrt{\Delta P}}, \quad (2)$$

где  $Q_D$  – суммарный расход дутья на печь, м<sup>3</sup>/ч.

Наибольшие отклонения расходов дутья от среднего значения его были на фурмах № 5,8,10,14, работавших с наибольшим диапазоном изменения расходов дутья. Средние значения отклонений составили за период исследования 14%.

Повышенный расход дутья (на 14%) наблюдался на воздушных фурмах № 2–5 со стороны места ввода горячего дутья к кольцевому воздухопроводу, с противоположной стороны подвода горячего дутья на фурме №14, а также на фурмах № 9-11. Указанный характер распределения дутья по фурмам сохранялся на протяжении всего периода исследования. Это подтверждается измерениями 20.07.2014 г., результаты которых представлены на рис. 7 (один из наиболее устойчивых периодов, отклонения от среднего составили 1–14%).

Для определения температуры периферийного газа установлено 6 термопар. На рис. 8 представлена диаграмма изменения средней температуры периферийного газа. Максимальная температура периферийного газа наблюдалась в секторе над чугунной леткой №2 (см. рис. 3).

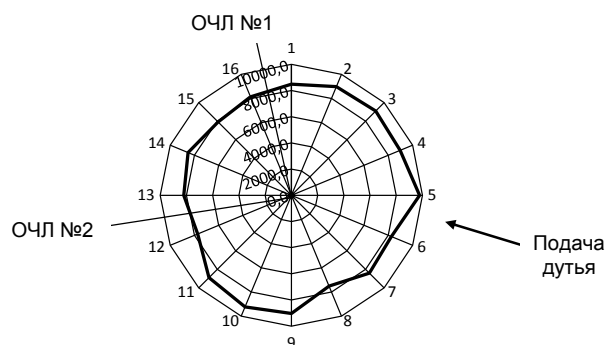


Рис. 7. Распределение горячего дутья по фурмам доменной печи Б 20.07.2014 г.

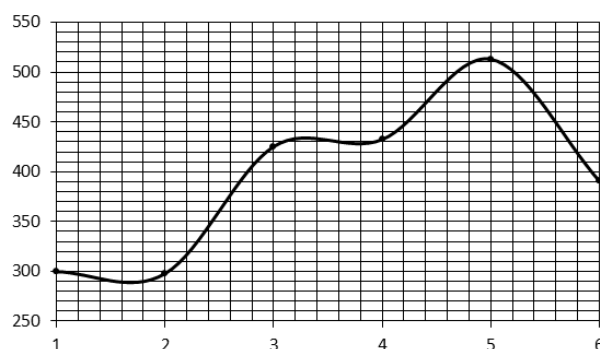


Рис. 8. Средняя температура периферийного газа на доменной печи Б с 1.07.2014 г. по 28.07.2014 г.

Распределение расходов горячего дутья по фурмам доменной печи Б равномернее, чем на доменных печах В и Г.

Объяснить это можно следующим:

- доменная печь Б после капитального ремонта (6 месяцев после задувки), и вероятность заполнения диффузоров фрагментами огнеупорных изделий от разрушения футеровки сведена к минимуму;
- «чистота» профиля доменной печи;
- подвод горячего дутья к кольцевому воздухопроводу осуществлен не в горизонтальной плоскости, а под углом (см. рисунок 5), что уменьшает вероятность прямого попадания горячего дутья и фрагментов огнеупорных изделий в диффузоры фурменных приборов этого сектора;
- меньшее количество воздушных фурм (16 против 25).

Средств контроля и регулирования распределения дутья по фурмам на доменных печах недостаточно [1], а влияние его на газовый поток существенно, поэтому необходимо оснащать современные доменные печи системами автоматического распределения дутья по фурмам.

#### Список литературы

1. Необходимость и возможность оснащения современных доменных печей системами автоматического распределения

- дутья нового поколения / Дружков В.Г., Ваганов А.И., Прохоров И.Е., Ширшов М.Ю. // Теплофизика и информатика в образовании, науке и производстве: сб. докл. II Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (ТИМ ` 2013) с международным участием. Екатеринбург: УрФУ, 2013. С.182-184.
2. Дружков В.Г., Ширшов М.Ю. Влияние распределения дутья по фурмам на работу доменных печей // Наука и производство Урала: научно-технический и производственный журнал. 2014. Вып.10. С. 25-27.
  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. Сажнев Н.Н. Система автоматического распределения дутья по фурмам доменной печи // Бюл. ЦИИН. 1969. №13. С. 37–39.

#### Сведения об авторах

**Ширшов Михаил Юрьевич** – аспирант, институт металлургии, машиностроения и материалобработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: [shirshov1989@mail.ru](mailto:shirshov1989@mail.ru)

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

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

**Прохоров Иван Евгеньевич** – канд. техн. наук, доц., институт металлургии, машиностроения и материалобработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

---

### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

---

#### RESULTS OF AN ESTIMATION OF UNIFORMITY OF DISTRIBUTION ON BLAST TO THE TUYERES OF BLAST FURNACE

**Shirshov Mikhail Yuryevich** – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: [shirshov1989@mail.ru](mailto:shirshov1989@mail.ru) .

**Druzhkov Vitaly Gavrilovich** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: (3519) 29-84-30.

**Pavlov Alexander Vladimirovich** – deputy chief metallurgist of blast-furnace production OJSC MMK. E-mail: [kani-na@mmk.ru](mailto:kani-na@mmk.ru).

**Prokhorov Ivan Evgenyevich** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University.

**Abstract.** As a result of an assessment for steady distribution of blast on tuyeres of blast furnaces it is set that mean value of rejections of expenditures of blasting on a blast furnace of B didn't exceed 14%. Unsteady of distribution of blast on tuyeres of blast furnaces D and G remained and reached 55% and 52% respectively. The reasons of more uniform distribution of blast on tuyeres of a blast furnace of B. The necessity need of implementation of systems of automatic distribution of blast on the modern blast furnaces are established.

**Keywords:** blast furnace, delivery of hot blast, unsteady of its distribution on tuyeres, place of selection of pulse for pressure sensing, supply of blast to hot-blast circulating duct.

#### References

1. Drouzhkov V.G., Vaganov A.I., Prokhorov I.E., Shirshov M.Y. Need and possibility of equipment of the modern blast furnaces automatic distribution systems of blasting of new generation. Thermophysics and informatics in education, science and production: the collection of reports of the II All-Russian scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists (TIM' 2013) with the international involvement. Yekaterinburg: URFA, 2013, pp. 182-184.
2. Drouzhkov V.G., Shirshov M.Y. Effect of distribution on blast to the tuyeres on performance data of blast furnace. Science and production of the Urals: scientific and technical and production log. 2014, no.10, pp. 25-27.
3. Sazhnev N.N., Ivanov N.I., Stefanovich M.A. and other. Development and deployment of automatic distribution system of blast on tuyeres. Questions heating engineers and automations of metallurgical production: Collection scientific. Works MGMI of G. I. Nosov. Magnitogorsk, 1970, no. 76, pp. 4-9.
4. Sazhnev N.N. Blast automatic distribution system on tuyeres of a blast furnace. Bulletin STI, 1969, no. 13, pp. 37–39.



УДК 669.162.262.4

Сибатуллин С.К., Махмутов Р.Ф., Сибатуллина М.И., Стародубов В.А., Буранова Э.Ф.

## ОБ ОПТИМАЛЬНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ В КОЛОШНИКОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

**Аннотация.** Рассмотрено действие равномерности распределения шихтовых материалов в колошниковом пространстве на различные стороны доменного процесса. Повышенная равномерность распределения может использоваться в качестве одного из средств ограничения производительности печи при необходимости этого, например, в связи с отсутствием потребителя. Избыточно неравномерное распределение предопределяет работу печи с пониженным общим перепадом давления газов, так как попытка повышения его ведёт к нарушениям схода шихты, включая её подвешивание. По исследованиям на доменных печах уменьшение общего перепада давления на 10 кПа сопровождается увеличением удельного расхода кокса в среднем на 8 кг/т чугуна.

**Ключевые слова:** доменная печь, загрузка, колошник, распределение материалов, железорудное сырьё, кокс, газопроницаемость

Распределение загружаемых материалов на колошнике издавна считали существенным элементом теории и технологии доменной плавки и отмечали это, в частности, в 1812 и 1841 гг. [1, 2]. Значимость его и для современных условий работы печей остаётся высокой [2–4]. Возможная величина снижения удельного расхода кокса дальнейшим совершенствованием распределения железорудного сырья и кокса в колошниковом пространстве получена равной 7% [2]. Обеспечивающим такое действие фактором является снижение затрат тепла на прямое восстановление железа из оксидов, приближение степеней прямого и косвенного восстановлений к оптимальным величинам [5, 6]. В связи с этим дифференцировали факторы, действующие на оптимальность распределения загружаемых материалов в колошниковом пространстве доменной печи.

Загружаемые в доменную печь материалы представлены железорудными составляющими и коксом. Железорудные составляющие включают, кроме главных (основных) компонентов, которыми являются агломерат, окатыши и руды, ещё и дополнительные компоненты (добавки). В современных условиях добавками являются: флюсы; промывочные материалы; материалы, формирующие гарнисаж; материалы, переносящие тепло в горн печи в особых условиях её работы; углеродсодержащие материалы – заменители части кокса.

Для получения наилучших результатов в работе доменной печи необходимо обеспечивать максимально достижимое равномерное окружное (по секторам окружности колошника) распределение всех загружаемых материалов по видам, а каждого из них их ещё и по количеству, крупности и другим существенным показателям качества. К таковым могут относиться прочность, реакционная способность и др. Повышение равномерности по окружности ведёт к улучшению степени использования шихтой химической и тепловой энергии печных газов и к увеличению межремонтного периода работы печи [7].

Распределение по кольцевым зонам (радиусу колошника) должно быть оптимальным, но в соответ-

ствии с условиями работы печи. При этом также имеет значение распределение по видам материалов, количеству их в кольцевых зонах, показателям качества, в том числе крупности (содержания мелочи), прочности, реакционной способности и др.

Целесообразность оптимального характера распределения материалов по радиусу, вместо равномерного распределения, обусловлена действием следующих разносторонних требований к нему:

1. Для улучшения газопроницаемости нужно создавать неравномерное распределение, так как оно снижает потери напора газа  $h$  при движении через слой шихты (улучшает газопроницаемость) в соответствии с данными на рис. 1, полученными лабораторными исследованиями и расчётами [8].

Для достижения высокой степени использования тепловой и химической энергии печных газов при их движении через слой шихты целесообразно располагать железорудные материалы и кокс либо послойно, либо в смеси, то есть равномерно. Но в этом случае значительно снижается газопроницаемость шихты, что ограничивает интенсивность движения газов и, следовательно, интенсивность выплавки чугуна, производительность печи.

В наших исследованиях при послойном расположении агломерата и кокса потеря напора  $h$  составила 7,54 кПа/м, а при предельно выраженном неравномерном распределении – 2,44 кПа/м, то есть уменьшилась в 3,1 раза.

Улучшение газопроницаемости неравномерным распределением позитивно влияет на возможность повышения интенсивности процесса увеличением скорости движения газов до некоторого предела, но негативно на использование их энергии. Существует, таким образом, распределение, которое оказывается приемлемым для всего доменного процесса с учётом противоположного действия на различные его стороны. Улучшение качества железорудного сырья по газопроницаемости (крупности и прочности) создаёт возможность и целесообразность повышения равномерности распределения рудной и коксовой частей шихты по сечению. Частично это реализуется без

корректировки режима загрузки за счёт изменения физико-механических свойств соответствующего сырьевого материала.

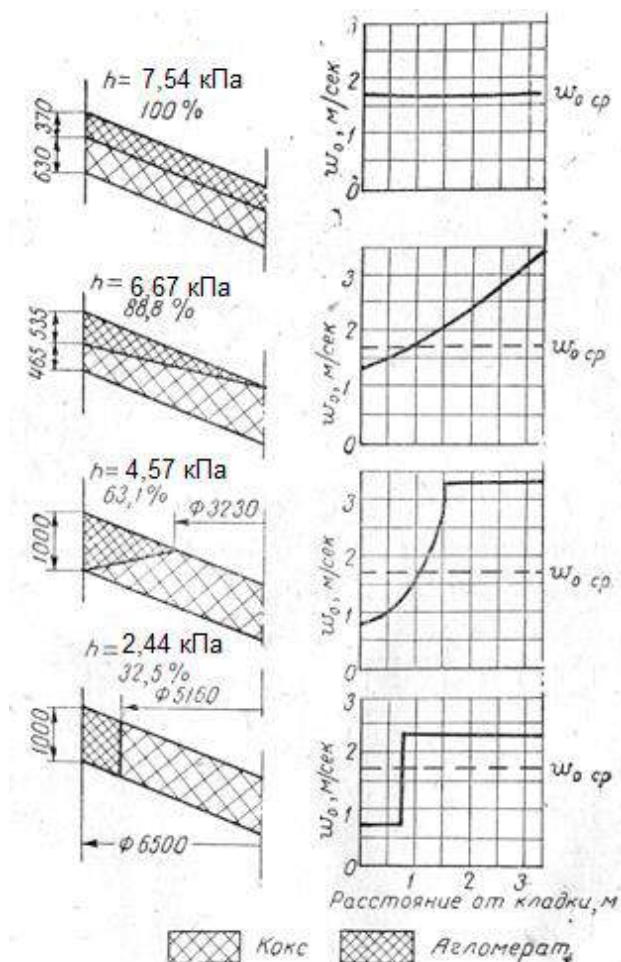


Рис. 1. Влияние неравномерного распределения агломерата и кокса по сечению печи на потери напора газа при движении его через слой шихты

2. Имеются противоположно действующие факторы на предельно допустимую интенсивность движения газа через слой шихты. Наивысшая интенсивность ограничивается приближением степени уравнивания материала подъёмной силой газового потока  $v$  к предельно допустимой величине. Приближение к пределу сопровождается остановкой схода шихты, считающейся технологической аварией (подвисанием), либо другим значительным нарушением структуры шихты. Предельная величина  $v$  зависит от условий работы печи и в настоящее время находится в интервале 40–60%.

Степень уравнивания  $v$  материала подъёмной силой газового потока характеризуется выражением

$$v = h / \gamma_{\text{нас}}, \quad (1)$$

где  $\gamma_{\text{нас}}$  – насыпная плотность материала.

С одной стороны, неравномерное распределение, как отмечалось, улучшает газопроницаемость и, бла-

годаря этому, способствует повышению интенсивности. С другой стороны, при неравномерном распределении в некоторой зоне по сечению доля кокса значительно превышает долю железорудного материала. Поскольку насыпная плотность кокса почти в 4 раза ниже, чем железорудных материалов, то в этой зоне степень уравнивания приближается к предельной величине, ограничивая дальнейшее повышение интенсивности. Следовательно, имеется оптимальное распределение железорудных материалов и кокса по сечению, позволяющее максимально интенсифицировать процесс производства чугуна.

Действие распределения на предельно допустимую интенсивность по углероду и общий перепад давления газов в связи с этим применительно к одной из печей ОАО «ММК» характеризует рис. 2. Повышенная равномерность распределения, соответствующая сплошной линии на рис. 2, может использоваться в качестве одного из средств ограничения производительности печи при необходимости этого, например, в связи с отсутствием потребителя.

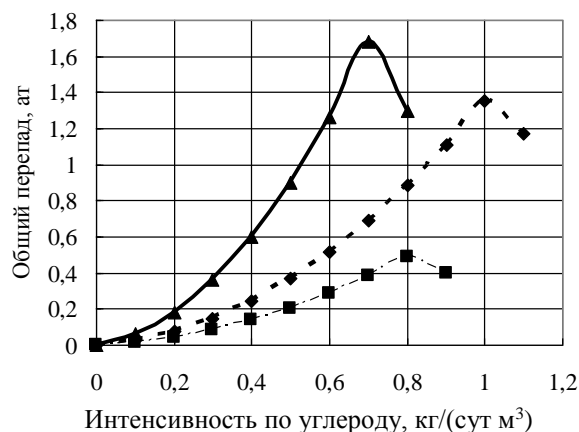


Рис. 2. Схема влияния равномерности распределения железорудного сырья и кокса на интенсивность плавки и общий перепад давления газов в доменной печи:  
 - - - оптимальное распределение для работы с максимальной производительностью;  
 — равномерное распределение для ограничения производительности и снижения удельного расхода кокса;  
 - · - · избыточно неравномерное распределение

Избыточно неравномерное распределение предопределяет работу печи с пониженным общим перепадом давления газов, так как попытка повышения его ведёт к нарушениям схода шихты, включая её подвисание. По исследованиям на доменных печах уменьшение общего перепада давления на 10 кПа сопровождается увеличением удельного расхода кокса в среднем на 8 кг/т чугуна.

Наблюдения на лабораторной установке с прозрачными стенками при распределении шихты с относительно большим количеством кокса в центре показали перераспределение материалов под воздей-



ствием увеличивающегося количества воздуха. Повышение скорости движения воздуха до 1,74 м/с перевело шихту во взвешенное состояние; при скорости 1,83 м/с кокс в центре приподнялся, а рудная сыпь сдвинулась с периферии к центру; при скорости 1,93 м/с начался общий подъем столба шихты. В дальнейшем прорыв газа в центре сопровождался перемещением шихты по двум вращающимся потокам: материалы, поднимавшиеся в центре, замещались материалами с низа периферии, занимая, в свою очередь, освобождающееся место около стен. Совершая своеобразное вращательное движение, материалы перемещались с верхних горизонтов в нижние и наоборот. Материалы перемещались по высоте, превышающей поперечные размеры установки.

3. Периферийный подвод дутья в горн доменной печи предопределяет необходимость создания специальных условий для продвижения газов, образующихся при горении топлива перед фурмами, вглубь печи до осевой зоны. Для обеспечения этого необходимо повышение газопроницаемости осевой зоны увеличением доли кокса в ней. Кроме снижения потерь газа в области противоточного движения твёрдых материалов и газов достигается создание осевого коксового окна в зоне когезии, повышенный прогрев центра горна печи, улучшенный дренаж продуктов плавки там.

Таким образом, оптимальное распределение предусматривает повышенную долю кокса в осевой части печи по сравнению с другими частями, но, например, чем выше горячая прочность кокса и ниже его реакционная способность, тем меньше выражена необходимость раскрытия центра.

4. Опускание шихты в печи под действием силы тяжести, преодолевая силы, действующие в противоположном направлении (подъёмная сила газового потока, силы трения и др.), предопределяет необходимость создания условий для уменьшения силы трения шихтовых материалов о футеровку печи, снижения вероятности формирования настывы в шахте, улучшения режима формирования гарнисажа. Повышение газопроницаемости периферийной зоны для этого увеличением доли кокса в ней, кроме снижения потерь газа в области противоточного движения твёрдых материалов и газов, обеспечивает создание периферийного коксового окна в зоне когезии, повышенный прогрев периферии горна печи, улучшенные условия для продвижения продуктов плавки к лёткам.

Таким образом, оптимальное распределение предусматривает повышенную долю кокса в периферийной части печи. Подвижные промежуточные и конечные шлаки, факторы, снижающие окисление элементов чугуна в фурменном очаге, снижают потребность в коксе для размещения его у периферии.

Распределение  $CO_2$  на одной из доменных печей ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», близкое к оптимальному при различных условиях её работы, представлено на рис. 3.

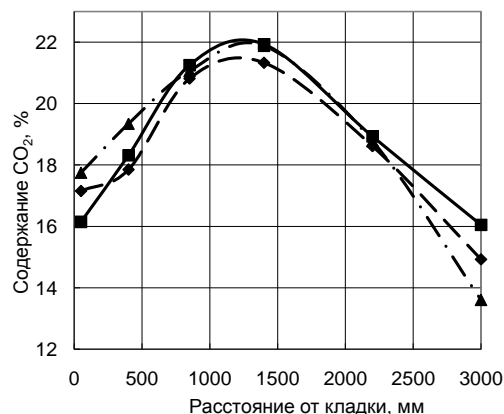


Рис. 3. Распределение  $CO_2$  по радиусу доменной печи в номинальных условиях работы (сплошная линия), при ухудшении (пунктир) и улучшении (штрихпунктир) условий

В рассмотренных для рис. 3 условиях работы печи наилучшие результаты по удельному расходу кокса и производительности были получены при распределении, соответствующем содержанию  $CO_2$  у периферии 17,7–19,3%, в зоне максимума 22,0%, а у оси 13,5% (штрихпунктирная линия). В неблагоприятных условиях (пунктирная линия) печь работала с повышенным удельным расходом кокса и пониженной производительностью по сравнению с другими периодами.

В качестве основных факторов, определяющих расположение материалов в слое после их загрузки в колошниковое пространство, рассмотрели следующие:

- траектория движения материалов с загрузочного устройства и место встречи потока их с поверхностью ранее загруженных материалов;
- соотношение углов откоса разных материалов, в том числе кокса и железорудного сырья;
- деформация ранее загруженного слоя вновь загружаемым материалом, то есть падающим с загрузочного устройства;
- соотношение скорости опускания поверхности шихты по кольцевым зонам от футеровки до оси, то есть по отдельным составляющим диаметра колошника; то же по секторам (по отдельным составляющим окружности колошника);
- самопроизвольное перераспределение материалов по крупности в процессе ссыпания материала с загрузочного устройства и после загрузки очередной подачи: сегрегация, переивание;
- количественное соотношение между материалами в шихте (агломерат, окатыши, кокс, руда, добавки).

На них влияют, кроме типа загрузочного устройства и физико-механических свойств загружаемых материалов, параметры газового потока: скорость, температура, давление, плотность.

## Список литературы

1. Павлов М.А. *Металлургия чугуна*. М.: Metallurgizdat, 1949. 628 с.
2. Товаровский И.Г. Прогнозная оценка влияния шихтовых материалов по радиусу колошника на процессы и показатели доменной плавки // *Металлург*. 2014. № 8. С. 46 – 52.
3. Дмитриев А.Н., Спиринов Н.А. Использование современных информационных технологий для анализа и контроля доменного процесса // *Чёрная металлургия: Бюл. ин-та «Черметинформация»*. 2014. № 1. С.21 – 25.
4. *Металлургия чугуна* / Е.Ф. Вегман, Б.Н. Жеребин, А.Н. Похвиснев, Ю.С. Юсфин и др.; под ред. Ю.С. Юсфина. М.: Академкнига, 2004. 774 с.
5. Сибгатуллин С.К. Оптимальная степень прямого восстановления железа из оксидов // *Сталь*. 1997. № 4. С. 1 – 5.
6. Сибгатуллин С.К., Харченко А.С., Бегинюк В.А. Технологические решения для оптимальной реализации доменного процесса // *Металлург*. 2014. № 4. С. 64 – 70.
7. Стабилизация соотношения расходов природного газа и дутья по фурмам доменной печи / Сибгатуллин С.К., Харченко А.С., Полинов А.А. и др. // *Теория и технология металлургического производства*. 2014. № 1 (14). С. 23 – 25.
8. Стефанович М.А., Сибгатуллин С.К., Гушин Д.Н. Закономерности движения шихты и газа в доменной печи. *Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова*. 2011. 161 с.

## Сведения об авторах

**Сибгатуллин Салават Камилевич** – д-р техн. наук, проф. кафедры металлургии черных металлов, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: (3519)29-84-30.

**Махмутов Радик Фаилевич** – аспирант кафедры металлургии черных металлов, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Сибгатуллина Маргарита Ильдаровна** – студентка гр. МБЖ-10, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Стародубов Валерий Алесандрович** – студент магистратуры гр. ММЧМ-13, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Буранова Эльвира Фаритовна** – студентка магистратуры гр. ММЧМ-13, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

## INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

## ON THE OPTIMAL DISTRIBUTION OF MATERIALS IN THE BLAST FURNACE SPACE OF THE BLAST FURNACE

**Sibatullin Salavat Kamilovich** – D. Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: (3519)29-84-30.

**Mahmutov Radik Failovich** – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University.

**Sibatullina Margarita Il'darovna** – Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University.

**Starodubov Valerij Alesandrovich** – Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University.

**Buranova Jel'vira Faritovna** – Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University.

**Abstract.** *The effect of the uniform distribution of the charge materials in the furnace throat space on various aspects of the blast furnace process is considered. Improved uniformity of distribution can be used as a means of limiting the performance of the furnace in need thereof, for example, due to lack of consumer. Excessively uneven distribution determines the operation of the furnace with a reduced total pressure drop of gas, as an attempt to increase it leads to violations of the vanishing of the charge, including its hanging. According to research the reduction in the total pressure drop of 10 kPa on the blast furnace is accompanied by an increase in specific coke consumption by an average of 8 kg / t of pig iron.*

**Keywords:** *blast furnace, loading, furnace throat, the distribution of materials, iron ore raw materials, coke, gas permeability.*

## References

1. Pavlov M.A. *Metallurgiya chuguna* [Ironmaking]. Moscow: Metallurgizdat, 1949. 628 p.
2. Tovarovskiy I.G. Prognostic evaluation of the influence of charge materials in the furnace throat radius on the processes and indicators of blast furnace smelting. *Metallurg* [Metallurg]. 2014, no. 8, pp. 46 – 52.
3. Dmitriev A.N., Spirin N.A. The use of modern information technology for analysis and control of the blast furnace process. *Chyornaya metallurgiya: Byul. in-ta "Chermetinformatsiya"*. [Black metallurgy]. 2014, no. 1, pp.21 – 25.
4. Vegman E.F., Zherebin B.N., Pohvisnev A.N., Yusfin Yu.S. *Metallurgiya chuguna* [Ironmaking]. Moscow: Akademkniga, 2004, 774 p.
5. Sibgatullin S.K. The optimum degree of direct reduction of iron from oxides *Stal* [Stal]. 1997, no. 4, pp. 1 – 5.
6. Sibgatullin S.K., Harchenko A.S., Beginyuk V.A. Technology solutions for the optimal implementation of the blast furnace process. *Metallurg* [Metallurg]. 2014, no. 4, pp. 64 – 70.
7. Sibgatullin S.K., Harchenko A.S., Polinov A.A. i dr. Stabilization of the flow ratio of natural gas and blast to the tuyeres of a blast furnace. *Teoriya i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva* [Theory and technology of metallurgical production]. 2014, no. 1 (14), pp. 23 – 25.
8. Stefanovich M.A., Sibgatullin S.K., Guschin D.N. *Zakonomernosti dvizheniya shihty i gaza v domennoy pechi* [Regularity of motion of the charge and gas in the blast furnace]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2011, 161 p.



УДК 669.162.16:622.788

Гущин Д.Н., Сенькин К.В., Харченко А.С., Сибатуллина М.И., Миникаева З.Р.

## ОХЛАЖДЕНИЕ АГЛОМЕРАТА С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЖЕЛЕЗА

**Аннотация.** На лабораторной установке ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И.Носова» исследованы режимы охлаждения агломерата с различным содержанием железа. При увеличении содержания железа в готовом агломерате с 54 до 56,9% скорость охлаждения увеличивалась в среднем на 14,7 град/мин.

**Ключевые слова:** агломерация, железо, концентрат, режим охлаждения, качество агломерата.

Для стабильной работы доменной печи необходимо загружать в нее материалы, обладающие высокими прочностными характеристиками. Прочность агломерата зависит от скорости его охлаждения [1]. Излишне ускоренное охлаждение ведёт к созданию термических напряжений, отчего агломерат получается хрупким, поэтому образует повышенное содержание мелочи при транспортировке и опускании в доменной печи, что ухудшает газопроницаемость шихты, сопровождающееся снижением производительности и увеличением удельного расхода кокса. При излишне медленном охлаждении агломерата существенно повышается его окисленность, вследствие чего он интенсивнее разрушается в верхней части доменной печи при дополнительном восстановлении, увеличивая коэффициент сопротивления шихты, потери напора газа и степень уравнивания шихты подъёмной силой газового потока. Такой агломерат ограничивает интенсификацию доменного процесса и повышает удельный расход кокса. Особенно это неблагоприятно сказывается на работе доменных печей с верхней определяющей зоной по силовому взаимодействию потоков шихты и газа.

Для выявления режимов охлаждения агломерата с различным содержанием железа провели серию спеканий шихты и последующего охлаждения полученного спека на лабораторной установке ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И.Носова» [2].

Шихтовые материалы включали 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 ших-

ты представлен в табл. 1.

После спекания агломерата с различным содержанием железа в интервале 54–56,9%, углерода 5–9% и влаги 7–11% производили его охлаждение до температуры 100°С при постоянном количестве пропускаемого воздуха через спек. Скорость охлаждения изменялась в пределах от 40,8 до 87,7 град/мин (табл. 2).

Согласно табл. 2 при увеличении содержания

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

Таблица 2  
Скорость охлаждения аглоспека при различных исходных параметрах

Содержание железа в готовом агломерате, %	Содержание углерода в шихте, %	Влажность шихты, %	Скорость охлаждения аглоспека, град/мин
54	5	9	72,5
54	7	7	49
54	7	11	55,3
54	9	9	40,8
56,9	5	9	87,7
56,9	7	7	52,6
56,9	7	11	79
56,9	9	9	57,2

железа в готовом агломерате скорость охлаждения увеличивалась в среднем с 54,4 до 69,1 град/мин.

Содержание углерода и влажность шихты также влияли на режим охлаждения агломерата. При содержании железа в готовом агломерате 54 и 56,9%, влажности шихты 9% увеличение содержания углерода в шихте с 5 до 9% уменьшало скорость охлаждения аглоспека соответственно на 31,7 и 30,5°С. При содержании железа в готовом агломерате 54 и 56,9%, углерода 7% увеличение влажности шихты с 7 до 11%

Таблица 3

Температура стабилизированного агломерата при различном содержании железа

Фабрика А		Фабрика Б	
Содержание железа в готовом агломерате, %	Среднемесячная температура стабилизированного агломерата, °С	Содержание железа в готовом агломерате, %	Среднемесячная температура стабилизированного агломерата, °С
54,4	144	53,9	56
54,6	139	54,5	86
54,6	140	54,7	96
54,8	131	54,8	119
55	146	54,8	116
55	156	55	104
55,1	158	55,1	123
55,1	125	55,2	106
55,2	132	55,2	65
55,2	166	55,3	64
55,3	130	55,4	89
55,3	145	55,4	113
55,3	151	55,4	66
55,3	131	55,4	48
55,3	102	55,4	49
55,3	101	55,5	78
55,5	129	55,6	69
55,6	141	55,6	78
55,6	128	55,7	11
55,7	117	55,8	56
55,7	97	55,8	40
55,8	128	56	65
56	112		

увеличивало скорость охлаждения готового агломерата соответственно на 6,3 и 26,4°С.

Проанализировали изменения среднемесячной температуры готового стабилизированного агломерата, полученного на аглофабриках А и Б ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», при изменении содержания железа в нем за 2012–2013 гг. (рис. 1, 2 и табл. 3). В производственных условиях также проявлялась тенденция к снижению температуры стабилизированного агломерата при увеличении содержания железа в готовом агломерате. Из рис. 1 и 2 видно, что с увеличением содержания железа в шихте среднемесячная температура стабилизированного агломерата снижалась, следовательно, скорость его охлаждения увеличивалась.

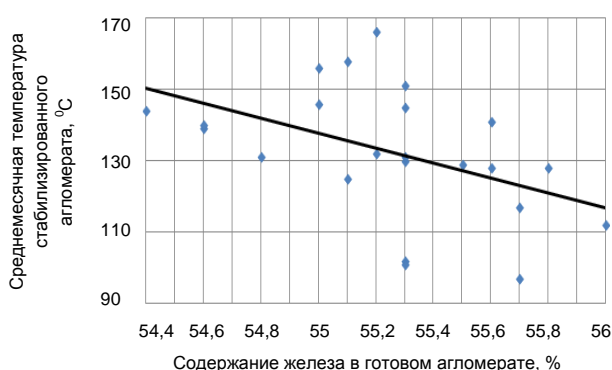


Рис. 1. Влияние содержания железа в готовом агломерате на температуру стабилизированного агломерата на аглофабрике А

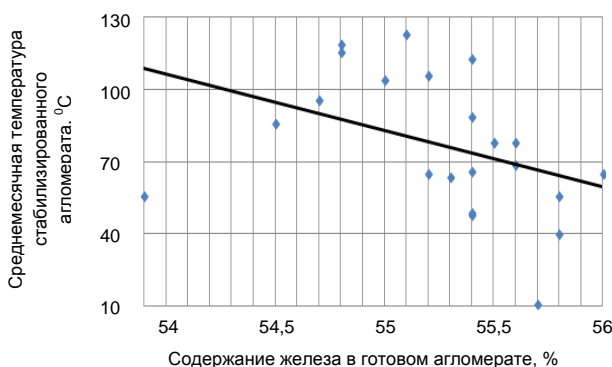


Рис. 2. Влияние содержания железа в готовом агломерате на температуру стабилизированного агломерата на аглофабрике Б

**Заключение**

Увеличение содержания железа в готовом агломерате сопровождалось повышением скорости его охлаждения. Согласно проведенным исследованиям на лабораторной установке ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И.Носова» при увеличении содержания железа в готовом агломерате с 54 до 56,9% скорость охлаждения увеличивалась в среднем на 14,7 град/мин.

Список литературы

1. Базилевич С.В., Вегман Е.Ф. Агломерация. М.: Металлургия, 1967. 368 с.
2. Повышение содержания железа в агломерате изменением соотношения концентратов ОАО «ММК» и Лебединского ГОК по лабораторным исследованиям / Сибгатуллин С.К., Гуцин Д.Н., Харченко А.С. и др. // Теория и технология металлургического производства. 2014. №1 (14). С. 12-16.

Сведения об авторах

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

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

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

**Сибгатуллина Маргарита Ильдаровна** – студентка факультета стандартизации, химии и биотехнологии, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Миникаева Зарина Ринатовна** – студентка института металлургии, машиностроения и материалообработки, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

---

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

---

COOLING OF SINTER WITH DIFFERENT IRON CONTENT

**Harchenko Aleksandr Sergeevich** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: (3519) 29-84-30. E-mail: as.mgtu@mail.ru

**Guschin Dmitriy Nikolaevich** – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University.

**Senkin Konstantin Vasilevich** – Leading engineer of sinter laboratory of CLK of OJSC MMK.

**Sibagatullina Margarita Ildarovna** – Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University.

**Minikaeva Zarina Rinatovna** – Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University.

***Abstract.** Sinter cooling modes with different iron content are studied. Revealed that an increase in the iron content in the finished sinter increases the cooling rate. According to research conducted in a laboratory setup FSB EI of HPE of "NMSTU" with increasing of content of iron in the finished sinter, from 54 to 56,9 the cooling rate was increased by an average of 14.7 dg / min.*

***Keywords:** sinter, iron, concentrate, cooling mode, the quality of the sinter.*

References

1. Bazilevich S.V., Vegman E.F. *Aglomeratsiya* [Sintering]. Moscow: Metallurgiya, 1967, 368 p.
2. Sibagatullin S.K., Guschin D.N., Harchenko A.S. and others, The iron content increase in the sinter by change in the ratio of concentrates of OJSC "MMK" and Lebedinsky GOK in laboratory studies. *Teoriya i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva* [Theory and technology of metallurgical production]. 2014, no.1 (14), pp. 12-16.



# МЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ

УДК 669.184

Шешуков О.Ю., Некрасов И.В., Метелкин А.А., Егиазарьян Д.К., Кудинов Д.З., Сапожникова Т.В.

## ПОДГОТОВЛЕННЫЕ СИДЕРИТЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В КОНВЕРТЕРНОМ ПРОЦЕССЕ

**Аннотация.** Рассмотрен процесс переработки низкокремнистого металла в конверторе без использования традиционного охладителя – лома. В качестве охладителя предлагается использовать сидериты, в т.ч. как источник оксида магния. Рассмотрена также возможность использования сидеритов в современной электроплавке.

**Ключевые слова:** конвертерная плавка, электропечь, оксид магния, охладитель.

В настоящее время из-за резкого роста электросталеплавильных мощностей наблюдается дефицит стального лома, повышение его стоимости. Зачастую стоимость собственного жидкого чугуна оказывается ниже стоимости покупного лома. Скорее всего, ситуация на рынке лома в дальнейшем будет только ухудшаться [1]. Снижается и качество лома как металлошихты - повышается его замусоренность и загрязненность до значений, при которых уже можно использовать понятие «степени металлизации лома».

Дефицит лома и снижение его качества влияет не только на электросталеплавильные предприятия, но также сказывается и на показателях конвертерных производств, поскольку лом в количестве до 20% от веса металлошихты является необходимым технологическим материалом – охладителем плавки. Отсутствии лома приводит к перегреву плавки, ее переокислению, снижению стойкости футеровки, перерасходу шлакообразующих и т.п. Известно предложение [2] по использованию необоженной сидеритовой руды в качестве охладителя конвертерной ванны. Однако применение необоженной руды резко ухудшает тепловой баланс конвертерной плавки и не использует полностью потенциал сидеритов – не позволяет вносить в шлак до 8–9% MgO (это количество MgO резко снижает агрессивность шлака к футеровке). Кроме того, из-за роста доли чугуна в шихте должен снизиться выход годного.

По-видимому, необходимо изучить возможность использования в конвертерной плавке специально подготовленных сидеритов. Подготовленные сидериты должны обеспечивать возможность внесения 8–9% MgO в шлак при снижении количества лома-охладителя и повышении выхода годного. Очевидно, технология подготовки сидеритов должна включать обжиг и удаление кремнезема. Технология декарбонизирующего обжига внедрена на БРУ более 30 лет назад. Технология предуматривает обжиг сырого сидерита крупностью 10–60 мм при температуре порядка 900°C. Создание окислительных условий при обжиге также позволяет провести удаление серы. Технология обогащения обожженного концентрата

путем удаления SiO<sub>2</sub> разработана институтом «Уралмеханобр» примерно в это же время. Технология позволяет снизить содержание SiO<sub>2</sub> до 3–5% сухой магнитной сепарацией концентрата крупностью 0-6 мм при степени извлечения железа 96%. Мокрая магнитная сепарация концентрата измельченного до крупности – 50 мкм позволяет снизить содержание SiO<sub>2</sub> до 0,5%.

Варианты химического состава подготовленных таким образом сидеритов представлены в таблице (1 – сидерит, обожженный с удалением кремнезема до 1% и серы до 0,1%; 2 – сидерит, обожженный с удалением кремнезема до 4% и серы до 0,1%; 3 – сидерит, обожженный с удалением серы до 0,1%; 4 – сидерит, обожженный без удаления серы; 5 – сырой сидерит). Также в таблице представлен состав доломита, использованный в расчетах для сравнения.

Химический состав доломита и обогащенных сидеритов (1–5)

Составляющие	Химический состав шлакообразующего материала, %					
	Доломит	1	2	3	4	5
FeO <sub>x</sub>	-	71,2	69,1	62,7	62,5	39,5
CaO	33,0	4,8	4,7	4,2	4,2	2,7
MgO	16,0	17,1	16,5	15,0	15,0	9,5
SiO <sub>2</sub>	3,0	1,0	4,0	12,8	12,8	8,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	3,3	3,2	2,9	2,9	1,8
MnO	-	2,5	2,4	2,2	2,2	1,4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
FeS	-	0,2	0,2	0,2	0,8	0,6
П.п.п.	44	-	-	-	-	33,9
H <sub>2</sub> Oф	-	-	-	-	-	2,9

В ОАО «ЕВРАЗ НТМК» перерабатывается углеродистый полупродукт, не содержащий кремния. Поэтому в плавке для наведения жидкоподвижного шлака используется кремнийсодержащий флюс ОКД. Расчеты показывают, что добавки сидеритов могут внести в плавку необходимое количество кремнезема. Расчеты конвертерного процесса проводились для 160-тонного конвертера по методике в работе [3]. Принималось, что расход извести постоянный – 3200 кг на плавку, а основность шлака составляет 3,1 ед. Расход доломита и сырого сидерита (вариант

5) устанавливался на уровне, при котором потребность в ломе исчезает. Расход же подготовленных сидеритов, обладающих существенно меньшим охлаждающим эффектом, ограничивался уровнем, обеспечивающим содержание в шлаке 8% MgO – который стараются выдерживать на практике по ходу продувки. Результаты представлены на рис. 1–4.

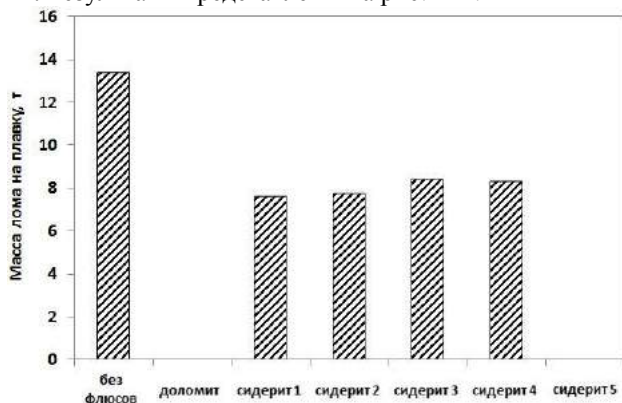


Рис. 1. Зависимость массы лома от вида магнезального флюса

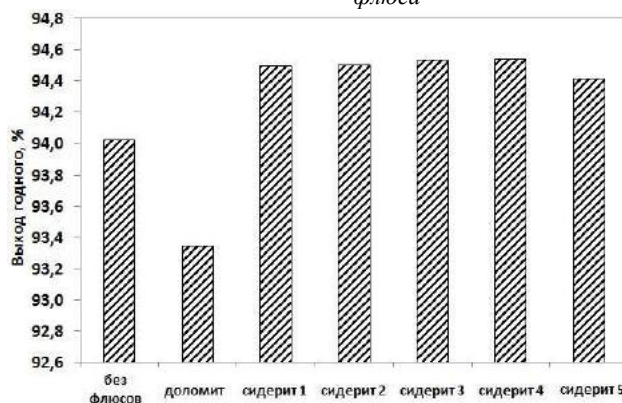


Рис. 2. Выход стального полупродукта из металлошихты в зависимости от вида магнезального флюса, %

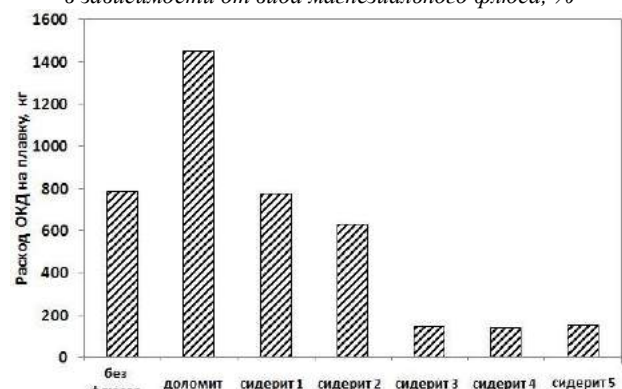


Рис. 3. Расход ОКД на плавку в зависимости от вида магнезального флюса

Ввод сидерита приводит к снижению доли лома в шихте, причем ввод сырого сидерита возможен только до получения в шлаке 7,9% оксида магния, при этом расход лома равен нулю (см. рис. 1). Высокообогащенный сидерит снижает потребность в ломе почти

в два раза, т.е. как раз до уровня, который близок к количеству образующегося на предприятиях оборотного лома – высококачественного лома, снабжение которым всегда стабильно.

Выход годного немного снижается при использовании доломита по сравнению с базовым вариантом (см. рис. 2) – растёт масса шлака, а значит, и количество корольков оксидов железа в шлаке. При использовании максимально обогащенных сидеритов выход годного повышается – меньше окисляется железа металлошихты. При использовании плохо подготовленных сидеритов выход стали снижается из-за повышения кратности шлака. Расход кремнеземсодержащего ОКД на плавку (см. рис.3) уменьшается и приближается к 100 кг при использовании сидеритов без удаления SiO<sub>2</sub>. Это позволяет сделать вывод, что удалять кремнезем из сидеритов не нужно.

Использование сидеритов в качестве охладителя конвертерной ванны не приводит к резкому повышению содержания серы в металле (см. рис. 4). При расчетах коэффициент распределения принимался равным 5. При этом содержание серы в металле на плавке при хорошо подготовленных флюсах колеблется около 0,017%, что связано с изменением расчетной массы шлака при постоянстве коэффициента распределения.

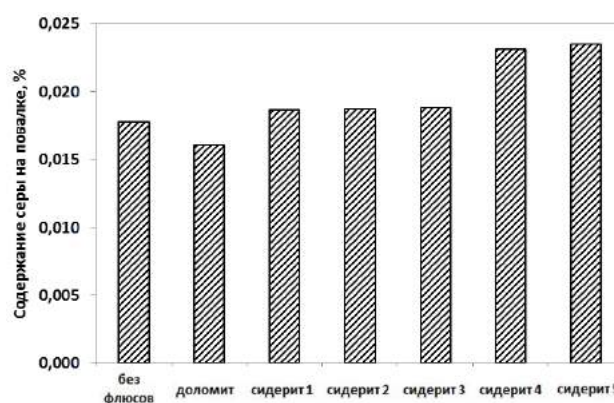


Рис. 4. Содержание серы в металле на плавке конвертера в зависимости от вида магнезального флюса, %

Таким образом, можно сделать вывод, что обогащенный по варианту 4 сидерит (обжиг) наиболее пригоден для использования в качестве охладителя конвертерной ванны при переработке безкремнистого полупродукта, поскольку позволяет улучшить показатели конвертерной плавки и не требует сложного обогащения. При этом потребность конвертерного производства в ломе снижается до значений, которые соответствуют образованию собственного оборотного лома. Данный лом характеризуется высоким качеством, проблем с его снабжением не возникает. Одновременно повышается выход годного.

Дефицит лома сказывается также на электросталеплавильных производствах. В результате в последнее время были разработаны специальные технологии

переработки повышенного количества жидкого чугуна (до 80%) в шихте [4], что чрезвычайно неудобно и даже опасно с точки зрения техники безопасности. В связи с этим интересно оценить возможности сидеритов в современной электроплавке.

Одно из основных отличий электроплавки от конвертерной заключается в том, что тепла экзотермических реакций недостаточно для осуществления электросталеплавильного процесса. Дефицит теплового баланса электроплавки покрывается за счет ввода электроэнергии. Соответственно, применение сидеритов (охладителя) в электроплавке приведет к повышению расхода электроэнергии и затягиванию процесса. Однако, вероятно, есть какие-то рациональные параметры технологии использования сидеритов в электроплавке, например при насыщении электропечного шлака оксидом магния.

Были проведены расчеты электросталеплавильного процесса для 180-тонной ДСП с трансформатором 150 МВА по методике [5]. Расчет проводился из условия, что введение магнезиального шлакообразующего должно приводить к повышению содержания в шлаке оксида магния до 8%. Результаты расчетов представлены на рис. 5–9. В качестве сравнительных также рассчитывались варианты плавки без использования магнезиальных флюсов, а также с применением доломита. Основность шлака принималась равной 2 ед. Средняя мощность в период расплавления принималась равной 135 МВА; в период окисления 105 МВА; коэффициент мощности 0,81 и 0,8; электрический КПД – 0,94 и 0,95. Составы магнезиальных шлакообразующих принимались по данным таблицы.

Использование низкообогащенных сидеритов приводит к повышению расхода электроэнергии и извести (см. рис. 5, 6). Снижается выход годного из-за роста количества королек металла в шлаке (см. рис.7). Из-за роста массы образующегося шлака и повышенного прихода оксидов железа (восстанавливаемых углеродом с поглощением тепла) при использовании сидеритов возрастает длительность расплавления и общее время плавки (см. рис.8). При этом продолжительность плавки «от выпуска до выпуска» в случае использования высокообогащенного сидерита 1 меньше 60 мин, что лучше совмещается с циклом работы МНЛЗ, чем в случае плохо подготовленных сидеритов.

Было спрогнозировано количество растворяемых шлаком огнеупоров и торкрет-масс (см. рис.9) – по данным о массе шлака, предела его насыщения по MgO [6–8]. Из этих данных следует, что даже при вводе одинакового количества оксида магния (8%) рост массы шлака при использовании бедных по содержанию MgO флюсов приводит к повышению интенсивности износа футеровки. Поэтому рациональнее использовать высокомагнезиальные флюсы либо доломит, заменяющий также часть извести.

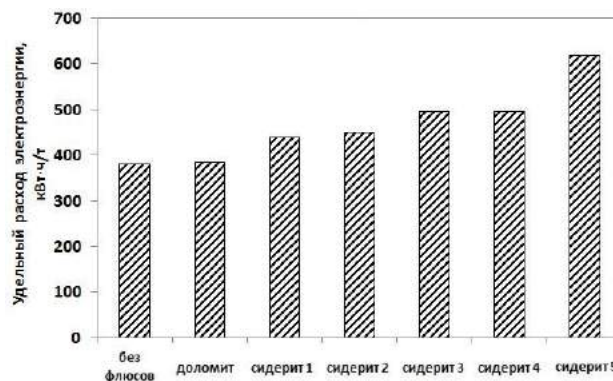


Рис. 5. Удельный расход электроэнергии в зависимости от вида магнезиального флюса

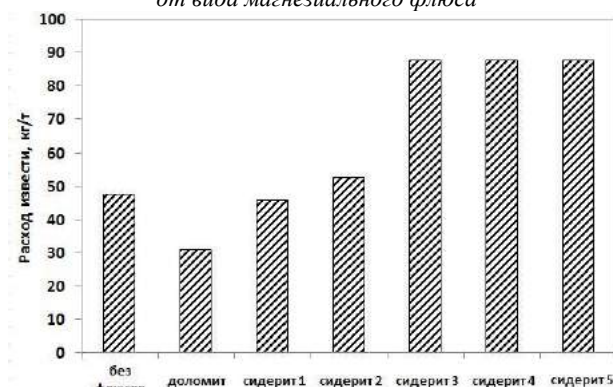


Рис. 6. Удельный расход извести в зависимости от вида магнезиального флюса

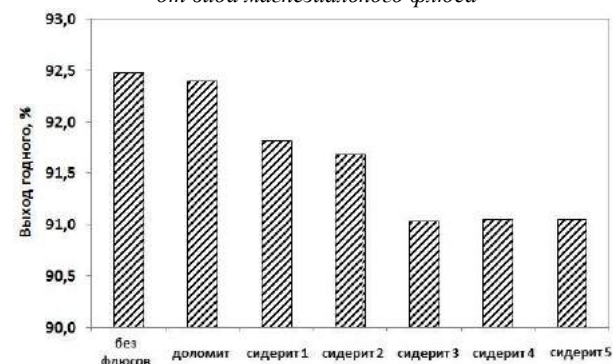


Рис. 7. Выход годного в зависимости от вида магнезиального флюса

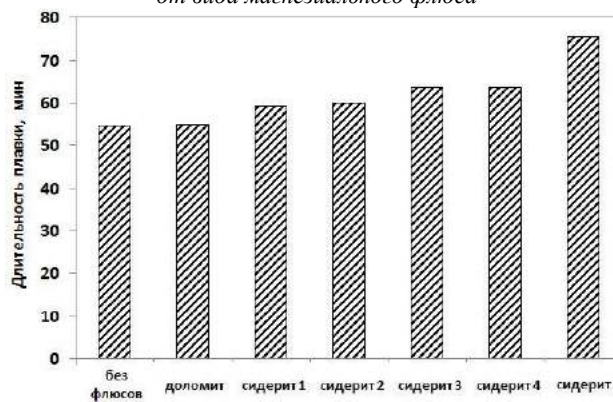


Рис. 8. Длительность плавки в зависимости от вида магнезиального флюса



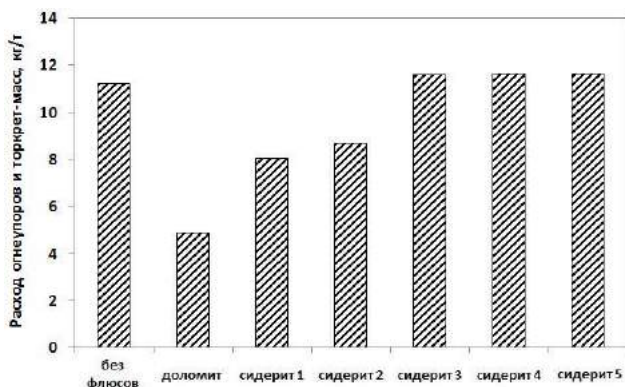


Рис. 9. Удельный расход огнеупоров и торкрет-масс в зависимости от вида магнезиального флюса

Использование сидеритов приводит к небольшому повышению содержания серы в металле, как и в случае конвертерного процесса (см. рис. 4).

Таким образом, есть техническая возможность переработки в ДСП обожженных сидеритов со сниженным до уровня 1% содержанием кремнезема (обусловлено длительностью плавки). Увеличение продолжительности плавки при использовании остальных видов сидеритов, скорее всего, вызовет затруднения при организации непрерывной разливки.

Показатели процесса при использовании всех видов сидеритов хуже, чем при использовании доломита. Заметного повышения выхода годного за счет восстановления оксидов железа вдуваемым углеродом, скорее всего, не следует ожидать, так как шлак непрерывно скачивается из печи. Обессеривать сидериты при их подготовке нецелесообразно.

#### Сведения об авторах

**Шешуков Олег Юрьевич** – д-р техн. наук, зав. лабораторией пирометаллургии черных металлов ИМЕТ УрО РАН. Тел.: (343) 2679715. E-mail: [ferro1960@mail.ru](mailto:ferro1960@mail.ru)

**Некрасов Илья Владимирович** – канд. техн. наук, ст. науч. сотр. лаборатории пирометаллургии черных металлов ИМЕТ УрО РАН. Тел.: (343) 2329019. E-mail: [ivn84@bk.ru](mailto:ivn84@bk.ru)

**Метелкин Анатолий Алексеевич** – ассистент каф. металлургии железа и сплавов Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (филиал – Нижнетагильский технологический институт). Тел.: (343) 2679715. E-mail: [anatoliy82@list.ru](mailto:anatoliy82@list.ru)

**Егиазарьян Денис Константинович** – инженер-исследователь лаборатории пирометаллургии черных металлов ИМЕТ УрО РАН. Тел.: (343) 2329019. E-mail: [avari@mail.ru](mailto:avari@mail.ru)

**Кудинов Дмитрий Захарович** – канд. техн. наук, ст. науч. сотр. лаборатории пирометаллургии черных металлов ИМЕТ УрО РАН. Тел.: (343) 2329030. E-mail: [d.kudinov@mail.ru](mailto:d.kudinov@mail.ru)

**Сапожникова Татьяна Всеволодовна** – канд. геол.-минер. наук, ст. науч. сотр. лаборатории пирометаллургии черных металлов ИМЕТ УрО РАН. Тел.: (343) 2329065. E-mail: [ferro1960@mail.ru](mailto:ferro1960@mail.ru)

#### Список литературы

1. Некрасов В.М. Ситуация на Российском рынке вторичных черных металлов, роль и задачи саморегулируемой организации в сфере деятельности по заготовке, переработке и реализации лома черных и цветных металлов // Труды XI Конгресса сталеплавателей. М.: Металлургия, 2011. С. 90-95.
2. 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.
3. Братчиков С.Г. Расчет материального и теплового балансов кислородно-конвертерного процесса с верхней подачей кислорода: метод. указ. Свердловск: УПИ, 1989. 32 с.
4. Пат. 2437941 РФ, МПК С21С5/52. Получение стали в электрических печах / Алексеев Л.В., Снегирев В.Ю., Валиахметов А.Х. и др.; заявитель и патентообладатель ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (RU). 2010123256/02; заявл. 07.06.2010; опубл. 27.12.2011, Бюл. № 36. 6 с.
5. Луценко В.Т., Павлов В.А., Докшицкая А.И. Дуговая сталеплавильная печь. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. 41 с.
6. Новиков В.К., Невидимов В.Н. Полимерная природа расплавленных шлаков. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. 62 с.
7. Методика оценки вязкости промышленных шлаков / Некрасов И.В., Шешуков О.Ю., Неведимов В.Н., Истомин С.А. // Изв. вузов. Черная металлургия. 2012. № 4. С. 21-24.
8. Техногенные материалы – сырье для производства шлакообразующих / Шешуков О.Ю., Гуляков В.С., Некрасов И.В., Шаманов А.Н., Вусихис А.С., Кудинов Д.З. // Экология и промышленность России. 2012. № 12. С.51-53.

#### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

#### PROCESSED SIDERITES AND THEIR USE IN STEELMAKING PROCESS

**Sheshukov Oleg Jurevich** – D. Sc. (Eng.), Professor, Manager of Laboratory of ferrous metals, IMET UB RAS. Phone: (343) 2679715. E-mail: [ferro1960@mail.ru](mailto:ferro1960@mail.ru)

**Nekrasov Ilya Vladimirovich** – Ph. D. (Eng.), Scientific employee of Laboratory of ferrous metals, IMET UB RAS. Phone: (343) 2329019. E-mail: [ivn84@bk.ru](mailto:ivn84@bk.ru)

**Metelkin Anatoly Alekseevich** – Assistant, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin (branch – Technology Institute of Nizhny Tagil). Phone: (343) 2679715. E-mail: [anatoliy82@list.ru](mailto:anatoliy82@list.ru)

- Egiazarjan Denis Konstantinovich** – Engineer-researcher of Laboratory of ferrous metals, IMET UB RAS. Phone: (343) 2329019. E-mail: [ayari@mail.ru](mailto:ayari@mail.ru)
- Kudinov Dmitry Zaharovich** – Ph. D. (Eng.), Scientific employee of Laboratory of ferrous metals, IMET UB RAS. Phone: (343) 2329030. E-mail: [d.kudinov@mail.ru](mailto:d.kudinov@mail.ru)
- Sapozhnikova Tatyana Vsevolodovna** – Ph. D., Scientific employee of Laboratory of ferrous metals, IMET UB RAS. Phone: (343) 2329065. E-mail: [ferro1960@mail.ru](mailto:ferro1960@mail.ru)

**Abstract.** Processing of low-siliceous metal in the converter without use of a traditional cooler (scrap) is considered. As a cooler it is offered to use siderites, and as a source magnesium oxide. The opportunity of use of siderites in modern EAF-process is considered.

**Keywords:** converter smelting, EAF, magnesium oxide, cooler.

#### References

1. Nekrasov V.M. Russian market of secondary ferrous metals situation, role and problems of the self-adjustable organization in a field of activity on preparation, processing and realization of a scrap. *Trudi XI Kongressa staleplavilshikov*. 2011, pp. 90-95.
2. Bigeev V.A., Kolesnikov J.U. A forecasting of technological parameters of melt of steel in the converter with use of siderite. *Teoriya i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. 2011, vol. 11, pp. 30-36.
3. Bratchikov S.G. Calculation of material and thermal balances of converter process with the top submission of oxygen. Sverdlovsk, 1989. 32 p.
4. Alekseev L.V., Snegiryov B.Yu., Valiahmetov A.H., etc. Steel smelting in electric furnaces. Patent RF, no. 2437941, 2011.
5. Lutsenko V.T., Pavlov V.A., Dokshitskaya A.I. Arc steel-smelting furnace. Yekaterinburg, 2005. 41 p.
6. Novikov V.K., Nevidimov V.N. Polymeric structure of the fused slags. Yekaterinburg, 2006. 62 p.
7. Nekrasov I.V., Sheshukov O.J., Nevedimov V.N., Istomin S.A. Estimation technique of viscosity of industrial slags. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya*. 2012, no. 4, pp. 21-24.
8. Sheshukov O.J., Guljakov V.S., Nekrasov I.V., Shamanov A.H., Vusihis A.S., Kudinov D.Z. Technogenic materials - material for slag-forming. *Ecologia i promyshlennost' Rossii [Ecology and the industry of Russia]*. 2012, no. 12, pp.51-53.



УДК 669.18.046.585.7:669.15-194.2

Столяров А.М., Мошкунов В.В., Валова Е.Ю.

## ШЛАКОВЫЙ РЕЖИМ КОВШЕВОЙ ОБРАБОТКИ КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОЙ IF-СТАЛИ

**Аннотация.** В статье рассмотрено изменение основности и окисленности шлака, коэффициентов распределения серы и фосфора в процессе ковшевой обработки IF-стали. Установлены зависимости между окисленностью металла, коэффициентами распределения серы, фосфора и окисленностью шлака. Сделана рекомендация по улучшению шлакового режима ковшевой обработки IF-стали.

**Ключевые слова:** IF-сталь, ковшевая обработка, шлаковый режим, параметры.

Известно [1–3], что сверхнизкоуглеродистую IF-сталь с содержанием углерода не более 0,007% в условиях кислородно-конвертерного цеха можно получить только при использовании вакуумной обработки металла. Вакуумирование является ключевым, но не единственным звеном ковшевой обработки. Обязательными составляющими технологии также являются обработка металла в процессе его выпуска из конвертера и на агрегате «печь-ковш». Для получения минимального содержания вредных примесей большое значение имеет шлаковый режим ковшевой обработки IF-стали.

С целью изучения основных параметров шлакового режима был исследован массив, состоящий из 21 плавки стали марки 006/IF. На каждой плавке отбирались пробы металла и шлака:

- перед выпуском металла из конвертера;
- перед началом вакуумной обработки металла;
- после вакуумной обработки металла.

Основными характеристиками шлака являются его основность и окислительная способность или окисленность шлака. На рис. 1 показано изменение основности и окисленности шлака в процессе производства IF-стали.

Из представленных данных видно, что основность шлака в процессе ковшевой обработки имеет достаточно высокие значения и в среднем составляет около 5. При этом удается получать активный жидкоподвижный шлак вследствие повышения его температуры на агрегате «печь-ковш» на стадиях предварительной подготовки к вакуумированию и после вакуумной обработки.

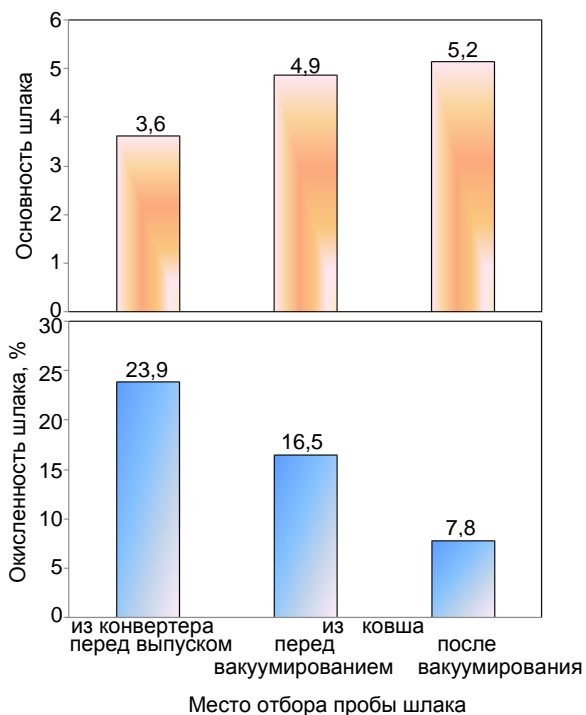


Рис. 1. Изменение средних значений основности и окисленности шлага в процессе производства IF-стали

Окисленность шлага, характеризующаяся содержанием монооксида железа, постепенно уменьшается, но ее значения остаются высокими. Это объясняется тесной взаимосвязью окисленности шлага с окисленностью металла. Так, перед вакуумной обработкой необходимо иметь слабо раскисленный металл для проведения его успешной декарбонизации при вакуумнокислородном рафинировании (средняя степень декарбонизации равняется 91,7%). Поэтому средняя величина окисленности металла составляет 410 ppm, что обуславливает и высокую окисленность шлага (рис. 2).

После вакуумирования окисленность металла снижается в среднем до 320 ppm, оставаясь высокой, что не позволяет существенно уменьшить содержание FeO в шлаке.

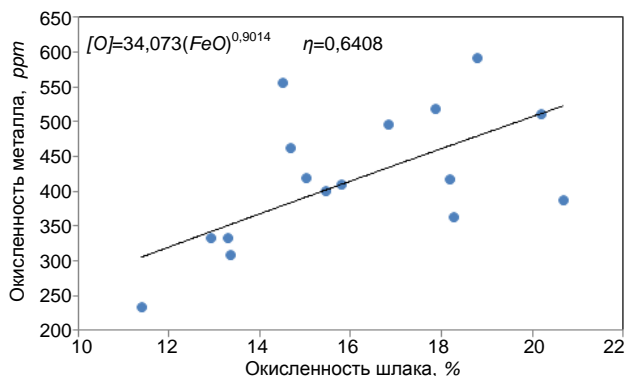


Рис. 2. Взаимосвязь между окисленностью металла [O] и окисленностью шлага (FeO) в ковше перед вакуумной обработкой IF-стали

Высокая окисленность шлага препятствует проведению эффективной десульфурации металла при ковшевой обработке. Из рис. 3 видно, что средние значения коэффициента распределения серы между шлаком и металлом имеют низкие значения – около 10. В то же время величины коэффициента распределения фосфора достаточно высоки (от 84 до 105). Возрастающая и убывающая зависимости соответственно коэффициентов распределения фосфора и серы от окисленности шлага перед и после вакуумной обработки приведены на рис. 4 и 5. В результате этого при ковшевой обработке IF-стали степень десульфурации металла получается очень низкой – в среднем 17,4%, а степень дефосфорации вдвое выше – в среднем 31,6%.

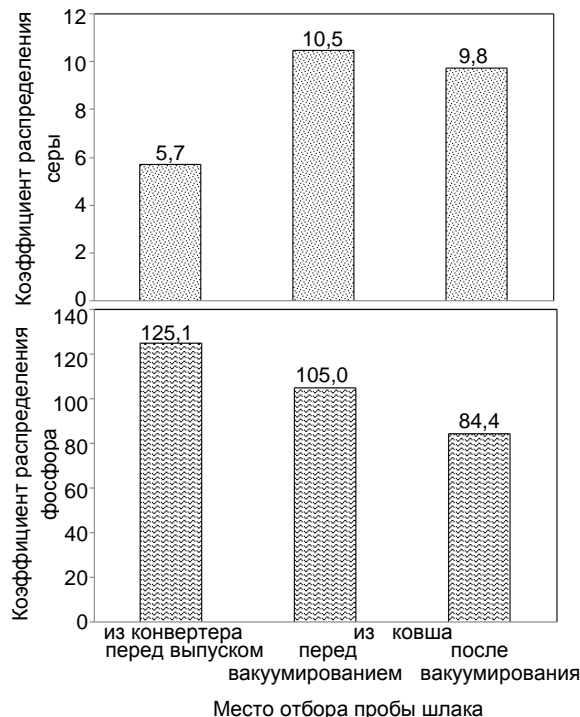


Рис. 3. Изменение значений коэффициентов распределения серы и фосфора между шлаком и металлом в процессе производства IF-стали

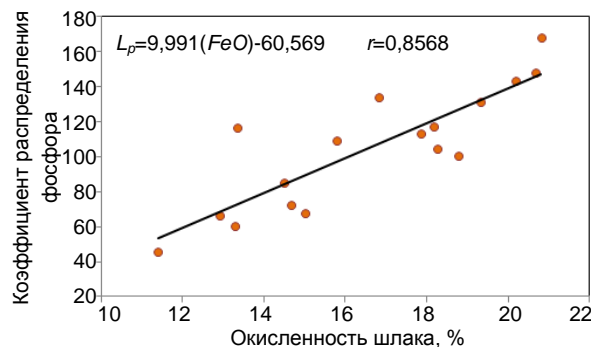


Рис. 4. Зависимость коэффициента распределения фосфора ( $L_p$ ) от окисленности шлага (FeO) в ковше перед вакуумной обработкой IF-стали

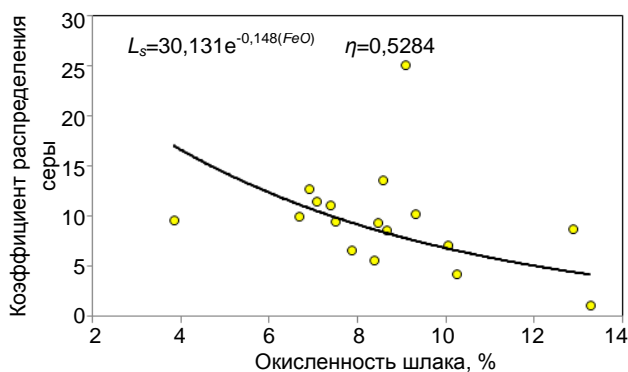


Рис. 5. Зависимость коэффициента распределения серы ( $L_s$ ) от окисленности шлака ( $FeO$ ) в ковше после вакуумной обработки ИФ-стали

Следствием высокой окисленности как металла, так и шлака после вакуумной обработки металла являются низкие величины усвоения алюминия из ка-

#### Сведения об авторах

**Столяров Александр Михайлович** – д-р техн. наук, проф., институт металлургии, машиностроения и материалобработки, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: (3519) 29-84-49. E-mail: [mcm@magtu.ru](mailto:mcm@magtu.ru)

**Мошкунев Владимир Викторович** – канд. техн. наук, инженер лаборатории непрерывной разливки стали ОАО «ММК».

**Валова Евгения Юрьевна** – студентка, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: [mcm@magtu.ru](mailto:mcm@magtu.ru)

танки, титана и ниобия из порошковой проволоки при микролегировании стали:

химический элемент	Al	Ti	Nb
средняя величина усвоения, %	44	65	88

Для повышения эффективности десульфурации и микролегирования ИФ-стали необходимо производить дополнительное раскисление шлака после окончания вакуумной обработки металла алюминийсодержащими материалами.

#### Список литературы

1. Производство сверхнизкоуглеродистых сталей без фаз внедрения на фирме «Voest-Alpine Stahl GmbH» // Новости черной металлургии за рубежом. 2004. №5. С. 32-35.
2. Дюдкин Д.А., Кисленко В.В. Современная технология производства стали. М.: Теплотехник, 2007. 528 с.
3. Изотов А.Н. Технология производства особонизкоуглеродистой стали в кислородно-конвертерном цехе с агрегатами большой вместимости: дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 2004. 149 с.

### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

#### SLAG REGIME OF LADLE TREATMENT FOR IF-STEEL

**Stolyarov Aleksandr Mikhailovich** – D. Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: 8(3519)298430. E-mail: [mcm@magtu.ru](mailto:mcm@magtu.ru)

**Moshkunov Vladimir Viktorovich** – Ph. D. (Eng.), Engineer Laboratory of continuous casting, OJSC «Magnitogorsk iron and steel works».

**Valova Evgenia Yurievna** – Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: [mcm@magtu.ru](mailto:mcm@magtu.ru)

**Abstract.** Variation of basicity and oxidability, coefficient of sulfur and phosphorus distribution during ladle treatment process of IF-steel are shown. Dependencies between these parameters have been determined. The recommendation for improvement of slag regime of ladle treatment for IF-steel is given.

**Keywords:** IF-steel, ladle treatment, slag regime, parameters.

#### References

1. Super low carbon steel without introduce phase production on «Voest-Alpine Stahl GmbH» company. News of black metallurgical abroad. 2004, no. 5, pp. 32-35.
2. Dyudkin D. A., Kisilenko V.V. Modern technology of steel production. Moscow: Teplotehnik. 2007. 528 p.
3. Izotov A.N. Ttechnology of Super low carbon steel production in oxygen Converter shop by big capacity converter. Ph.D. dissertation. Magnitogorsk, 2004. 149 p.

◆ ◆ ◆

Колесников Ю.А., Бигеев В.А., Сергеев Д.С.

## РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ В КОНВЕРТЕРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ОХЛАДИТЕЛЕЙ

**Аннотация.** В данной статье приведены результаты расчета охлаждающих эффектов различных шихтовых материалов (лома, известняка, сырого доломита и т.д.) в кислородном конвертере по технологии выплавки стали, проводимой без промежуточного спуска шлака. Особое внимание, вследствие дорожающего металлического лома, было уделено рассмотрению возможности применения сидеритовой железной руды Бакальского месторождения Челябинской области в качестве частичной замены металлического лома, а также в качестве шлакообразующего материала. Проведена количественная оценка влияния массы сидерита на технологические параметры выплавки стали в конвертере в условиях ККЦ ОАО «ММК». Расчет проводился по модернизированной математической модели, созданной в среде Microsoft Excel, в основу которой была положена система балансовых уравнений, решаемых совместно методом итераций. Настройка модели проводилась с помощью промышленных паспортов плавки трубных сталей класса прочности К60 конвертерного цеха ОАО «ММК».

**Ключевые слова:** выплавка стали, моделирование, математическая модель, конвертер, кислородно-конвертерный процесс, охлаждающие эффекты, тепловые эффекты, шихтовые материалы, неметаллические материалы.

В связи с истощением запасов высококачественного железорудного сырья становится все более актуальной задача вовлечения в металлургический процесс руд, которые до настоящего времени не использовались или применялись в ограниченных объемах. Челябинская область располагает большими запасами (около 1 млрд т) сидеритовых руд (Бакальское месторождение). В настоящее время существуют различные варианты исследований свойств сидерита, методов его обогащения и применения в производстве чугуна, а также химической промышленности.

Известно, что при производстве стали железная руда служит и источником кислорода (в подовых агрегатах), и охладителем (в кислородных конвертерах). Последнее вновь приобретает значение из-за высокой цены металлического лома.

Сидеритовая руда представляет собой изоморфную смесь карбонатов железа, магния, кальция и марганца [1]. В среднем в руде содержится 30,25% Fe<sub>общ</sub>, 9,45% MgO, 8,11% SiO<sub>2</sub>, 3,43% CaO, 2,35% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 2,8% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1,23% MnO, 0,16% S, 0,012% P и 36,07% пмпп. Качественная оценка сырой сидеритовой руды показывает возможность ее использования при выплавке стали в конвертерах для частичной замены металлического лома, а также в качестве шлакообразующего материала, содержащего оксиды железа, магния, марганца и кальция при разложении карбонатов во время продувки. Привлекает и невысокая стоимость руды (около 800 руб./т), ее кусковатость и прочность [2].

Для количественной оценки влияния массы сидерита на технологические параметры выплавки стали в конвертере в условиях ККЦ ОАО «ММК» были проведены расчеты в электронных таблицах Microsoft Excel по модернизированной математической модели. Математическая модель по традиции составлена на основе системы балансовых уравнений, которые решаются совместно методом итераций [3]. Однако при расчете состава и количества шлака масса железа, участвующая в процессах шлакообразования, определена по балансу кислорода с учетом состава шлака по паспортным данным. Кроме того, расходы материалов на плавку и количества продуктов плавки использовались в реальных данных.

Математическая модель была адаптирована к условиям ККЦ ОАО «ММК» при производстве трубных сталей класса прочности К60 (Х70) (см. рисунок).



Схема адаптации математической модели по методу В.Н. Селиванова

Для настройки модели использовали паспортные данные 50 плавки, проведенных с ноября 2013 г. по январь 2014 г. Паспортные данные по этим сталям наиболее полные и, с высокой вероятностью, достоверные. Проведена минимизация отклонений фактических и расчетных значений контролируемых параметров плавки (количеств чугуна, лома, извести, доломита, кислорода и др. на плавку, составов металла и шлака и пр.) [4].

В табл. 1 и 2 представлены результаты расчетов по разработанной математической модели.

На первом этапе исследований были определены охлаждающие эффекты различных материалов, которые использовались на плавку.

Результаты расчетов показали, что 1% лома (4 т) от массы металлошихты снижает температуру металла на 14°C, известняка – 28°C, сырого доломита – 31°C, ожелезненного – 14°C, окатышей – 50°C и сидерита – 37°C. По охлаждающему эффекту 1 т сидерита заменяет 2,6 т металлического лома или 1,3 т известняка.

Таблица 1

Материальный баланс плавки

Приход	Количество		Расход	Количество	
	т	%		т	%
Чугун жидкий	322	80,04	Сталь	350,76	87,19
Лом металлический	80,30	19,96	Шлак	68,25	16,97
Металлошихта	402,30	100,00	СО	31,00	7,71
Известь	18,34	4,56	СО <sub>2</sub>	10,66	2,65
Известняк	6,45	1,60	Корольки	6,83	1,70
Ож. доломит	8,50	2,11	Потери с пылью	7,43	1,85
Сыр. доломит	4,31	1,07	Потери дутья	0,71	0,18
ФМБУЖ	1,02	0,25	Потери Fe	8,05	2,00
Кислород	30,19	7,50	Невязка	0,09	0,02
Гарнисаж	12,07	3,00			
Футеровка	0,60	0,15			
Сумма	483,79		Сумма	483,79	

Таблица 2

Тепловой баланс плавки

Приход	Количество, %	Расход	Количество, %
Физическое тепло чугуна	51,03	Тепло на нагрев металла	63,55
Тепло окисления углерода	24,70	То же шлака	14,99
Тепло окисления кремния	8,61	>> газов	9,62
То же марганца	0,89	На разложение оксидов Fe	2,27
>> фосфора	0,57	То же карбонатов	2,18
>> хрома	0,18	Тепло на нагрев пыли	1,05
>> железа	9,07	То же выносов и выбросов	1,35
Тепло шлакообразования	4,33	Потери тепла	5,00
Тепло миксерного шлака	0,23		
Тепло дожигания СО	0,41		
Сумма	100,00	Сумма	100,00

Примечание. Температура металла по паспортным данным 1682°C (расчетная 1683°C).

Хотя содержание железа в руде в 3 раза меньше, чем в ломе, фактическая стоимость 1 т железа сидерита, составляя 2400 руб., выходит в 4 раза дешевле, чем стоимость 1 т железа лома, которая составляет в среднем 9500 руб.

Таким образом, проведена модернизация математической модели выплавки стали для условий конвертерного цеха ОАО «ММК» и расчетом определены охлаждающие эффекты различных материалов по технологии продувки без промежуточного спуска шлака. Ранее проведенные расчеты показали, что технологические параметры плавки практически не изменяются при расходе сидеритовой руды в количестве 6 т. Для годового производства стали в ККЦ ОАО «ММК» в этом случае потребуется примерно 170 000 т сырого сидерита.

#### Список литературы

1. Бигеев В.А., Колесников Ю.А., Сергеев Д.С. Состояние и перспективы использования сидеритовых руд Бакальского месторождения в черной металлургии // Теория и технология метал-

#### Сведения об авторах

**Колесников Юрий Алексеевич** – канд. техн. наук, доц., ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: (3519) 29-84-64, 29-84-49.

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

**Сергеев Дмитрий Станиславович** – аспирант, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519) 30-75-19. E-mail: dixord@mail.ru

### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

#### CALCULATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF SMELTING BECAME IN THE CONVERTER WITH USE OF VARIOUS COOLERS

**Kolesnikov Yury Alekseevich** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: 8 (3519) 29-84-64, 29-84-49.

**Bigeev Vakhit Abdrashitovich** – D. Sc. (Eng.), Professor, Director of institute of metallurgy, mechanical engineering and a materialsoorabotka, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: 8(3519) 29-85-59. E-mail: v.bigeev11@yandex.ru

**Sergeyev Dmitry Stanislavovich** – Postgraduate student, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: 8 (3519) 30-75-19. E-mail: dixord@mail.ru

**Abstract.** This article presents the results of the calculation of the cooling effects of different charge materials (scrap, limestone, raw dolomite, etc.) in the oxygen converter steelmaking technology pursued without intermediate descent slag. The special attention, owing to rising in price metal scrap, was given to consideration of possibility of use of sideritic iron ore of a bakalsky field of Chelyabinsk region as partial replacement of metal scrap, and also as a slag-forming material. The quantitative assessment of influence of mass of siderite on technological parameters of smelting of steel in the converter in the conditions of JSC MMK is carried out. Calculation was carried out on the modernized mathematical model created in the environment of Microsoft Excel which basis the system of the balance equations solved in common by a method of iterations was. Control of model was carried out by means of industrial passports of swimming trunks pipe staly a class of strength of K60 of converter shop JSC MMK.

**Keywords:** steel smelting, modeling, mathematical model, the converter, the oxygen and converter process, cooling effects, thermal effects, shikhtovy materials, nonmetallic materials

#### References

1. Bigeev V.A., Kolesnikov Y.A., Sergeyev D.S. State and prospects of use of sideritic ores of a bakalsky field in ferrous metallurgy. *Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva: mezhregion. sb. nauch. tr.* [Theory and technology of metallurgical production: interregion works. Ed. V.M. Kolokoltsev]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk state technical university. 2013, iss. 1 (13), pp. 6 – 8.

2. Bigeev V.A. Kolesnikov Y.A. Forecasting of technological parameters of smelting there were in the converter with siderite use. *Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva: mezhregion. sb. nauch. tr.* [Theory and technology of metallurgical production: interregion works. Ed. V.M. Kolokoltsev]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2011, iss. 11, pp. 30 – 36.
3. Kolesnikov Y.A. Calculation of an expense of scrap on steel melting in the converter with use of spreadsheets. *Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva: mezhregion. sb. nauch. tr.* [Theory and technology of metallurgical production: interregional works. Ed. V.M. Kolokoltsev]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2006, iss. 6, pp. 34–39.
4. Century N., Selivanov, Y.A. Kolesnikov, B.A. Budanov, etc. Modern possibilities of development of calculations of melting became on personal computers. *Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva: mezhregion. sb. nauch. tr.* [Theory and technology of metallurgical production: interregional works. Ed. V.M. Kolokoltsev]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2003, iss. 3, pp. 51 – 58.



УДК 621.746.5.047

Коротин А.В., Лозовский Е.П., Дюльдина Э.В., Селиванов В.Н.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ШЛАКООБРАЗОВАНИЯ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ С МАГНЕЗИАЛЬНОЙ ФУТЕРОВКОЙ

**Аннотация.** Проведено экспериментальное исследование шлакообразования в промежуточном ковше МНЛЗ с футеровкой из магнезиальной торкрет-массы. Установлено, что в процессе разливки серии плавов химический состав шлака существенно меняется вследствие растворения в нем огнеупорных материалов и поступления оксидных неметаллических включений из разливаемой стали. С использованием метода синтеза экспериментальных данных и математической модели процесса шлакообразования установлено, что доля растворившихся огнеупорных материалов составляет около 15%, а доля всплывших неметаллических включений – около 30% от массы конечного шлака. Сравнение полученных данных с материалами проведенного ранее экспериментального исследования шлакообразования в промежуточном ковше с футеровкой из шамотного кирпича показало, что доля растворившейся магнезиальной футеровки в 3–4 раза больше, чем футеровки шамотной. Более интенсивный переход в шлак магнезиальной футеровки объясняется заполнением её пор шлаковым расплавом и протеканием химической реакции с образованием относительно легкоплавкой фазы – энстатита, переходящей затем в шлак.

**Ключевые слова:** сталь, непрерывная разливка, промежуточный ковш, магнезиальная футеровка, шлакообразование, растворение футеровки, всплывание неметаллических включений.

Непрерывная разливка стали в кислородно-конвертерном цехе ОАО «ММК» производится с наведением в промежуточном ковше шлака, выполняющего функции изоляции поверхности жидкого металла и ассимиляции всплывающих неметаллических включений. Для этого в промежуточный ковш периодически вводятся шлакообразующие смеси (ШОС). В процессе разливки химический состав шлака существенно меняется, что оказывает влияние на свойства и выполнение им своих функций.

Ранее было проведено исследование шлакообразования в промежуточном ковше с футеровкой из шамотного кирпича [1–3]. В настоящее время в цехе широко применяются промежуточные ковши с футеровкой из магнезиальной торкрет-массы. Существенно изменился и сортамент выплавляемой стали, включающий, например, трубные стали повышенной прочности для нефте- и газопроводов в северном исполнении. Изменение технологии разливки потребовало провести исследование шлакообразования в промежуточном ковше МНЛЗ в новых условиях.

Экспериментальная часть исследования состояла в разливке двух серий опытных плавов (по 365 т каж-

дая) с использованием промежуточных ковшей, имеющих номинальную вместимость 45 т, с футеровкой из магнезиальной торкрет-массы. Разливка плавов первой серии производилась на четырехручье МНЛЗ на слябы, имеющие поперечное сечение 1320×250 мм. Промежуточный ковш был разделен двумя перегородками на одну приемную и две распределительные камеры, каждая из которых была предназначена для подачи металла в два ручья. Плавки второй серии разливали на одноручье МНЛЗ на слябы сечением 2720×300 мм. Промежуточный ковш был разделен одной перегородкой на приемную и распределительную камеры. Основные данные, характеризующие обе серии опытов, представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1  
Основные параметры разливки опытных плавов

Номер серии	Сталь	Количество плавов в серии	Масса стали, т	Длительность разливки, ч	Расход ШОС, кг/т стали
1	SAE1006, DCO-1	8 2	3722	8,6	0,25
2	X80	4	1447	5,0	0,15



Таблица 2

Химический состав огнеупорных материалов промежуточного ковша

Материал	Содержание, %				
	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	C
Футеровка	90	-	2	1	0
Перегородки	-	90	7	2	-
Стопора:					
1-я серия опытов	-	75	8	-	17
2-я серия опытов	-	50	7	-	36

Для наведения шлака в распределительных камерах промежуточного ковша использовали гранулированные шлакообразующие смеси, химический состав которых представлен в табл. 3. Шлакообразующие смеси вводили порциями в начале разливки каждой новой плавки.

Таблица 3

Химический состав шлакообразующих смесей

Номер серии	Содержание, %								
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	F	FeO	C
1	39,8	29,4	8,1	4,3	2,2	1,1	3,1	1,5	4,3
2	32,3	33,4	13,5	4,8	3,0	1,0	1,0	1,5	1,0

В середине разливки первой, средней и последней плавки каждой серии опытов из распределительной камеры отбирали пробы шлака для определения его химического состава. Параметры разливки, соответствующие моментам отбора проб, приведены в табл. 4.

Таблица 4

Параметры разливки, соответствующие отбору проб шлака

Номер серии	Номер плавки в серии	Время от начала разливки, ч	Масса разлитой стали, т	Введено ШОС с начала разливки, кг
1	1	0,50	92	72
	5	3,15	818	264
	10	8,95	1753	432
2	1	0,68	174	150
	2	1,92	543	170
	4	4,50	1260	210

Результаты анализа химического состава шлака в промежуточном ковше приведены на рис. 1 и 2.

По данным рис. 1 и 2 процесс шлакообразования можно представить следующим образом. В начале разливки, после введения первой порции шлакообразующей смеси, образуется первичный шлак, содержание компонентов в котором на этих рисунках условно отнесено в начале разливки и принято равным их содержанию в смеси. В дальнейшем состав шлака непрерывно меняется в результате протекания двух процессов:

- растворения огнеупорных материалов футеровки, разделительных перегородок и стопоров;
- всплывания неметаллических включений, образовавшихся в разливаемой стали.

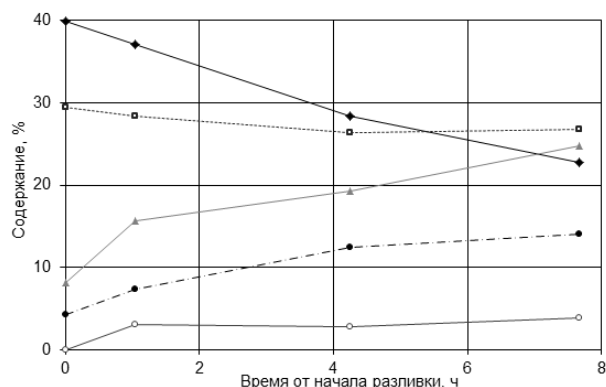


Рис. 1. Изменение содержания CaO (♦), SiO<sub>2</sub> (□), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (▲), MgO (●) и MnO (○) в промежуточном ковше в процессе разливки плавки серии №1

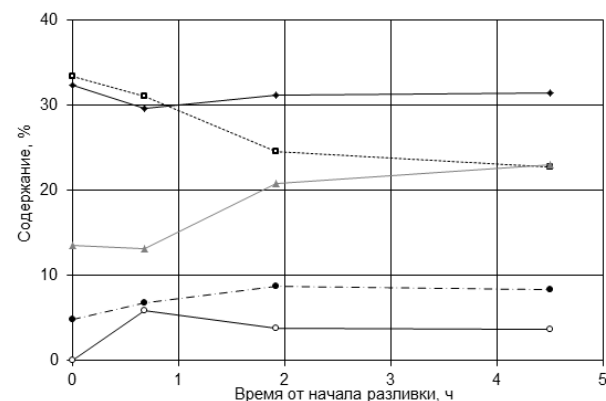


Рис. 2. Изменение содержания CaO (♦), SiO<sub>2</sub> (□), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (▲), MgO (●) и MnO (○) в промежуточном ковше в процессе разливки плавки серии №2

Содержание оксида кальция в процессе разливки плавки первой серии существенно снижалось, так как единственным источником поступления CaO в шлак является шлакообразующая смесь. Во второй серии опытов содержание этого компонента оставалось практически постоянным. Это объясняется тем, что при раскислении стали X80 используется порошковая проволока, содержащая силикокальций, и в продуктах раскисления, поступающих в шлак, присутствует CaO.

Содержание оксида магния в шлаке возрастает, так как этот оксид является основным компонентом футеровки, растворяющейся в шлаке.

Содержание оксида кремния в процессе разливки уменьшалось. Основной причиной этого является увеличение массы шлака вследствие растворения в нем магнезиальной огнеупорной футеровки промежуточного ковша.

Содержание оксидов алюминия и марганца, источником поступления которых являются всплывающие неметаллические включения, непрерывно возрастало при разливке обеих серий опытных плавки. Этот факт подтверждает существенную роль всплывания неметаллических включений в формировании шлака.

В шлаках в небольшом количестве содержались также и другие компоненты – Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, F и FeO,

вносимые шлакообразующей смесью. Концентрация этих компонентов в процессе разливки менялась незначительно с некоторой тенденцией к снижению вследствие общего увеличения массы шлака.

Экспериментальные данные об изменении химического состава шлака были использованы для расчета растворения в расплаве шлакообразующей смеси магнезиальной футеровки и ассимиляции всплывающих неметаллических включений методом синтеза экспериментальных данных и математических моделей [4]. Результаты этих расчетов приведены на рис. 3.

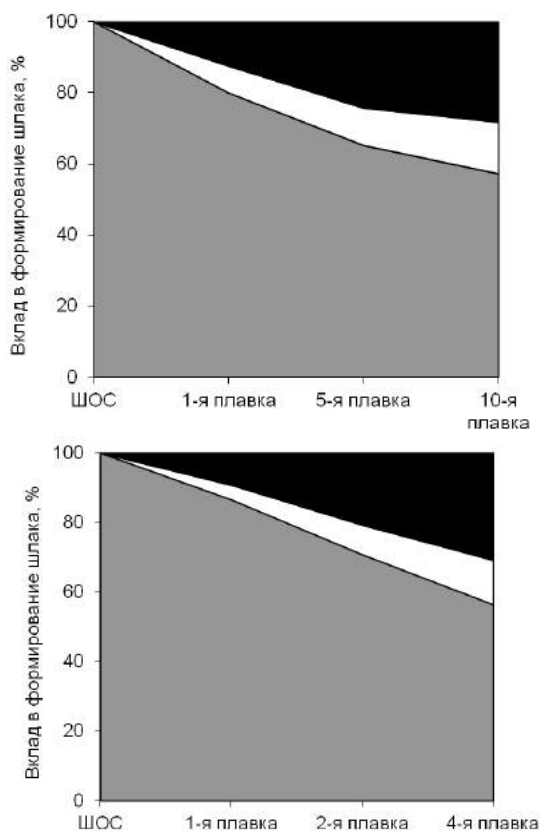


Рис. 3. Долевое участие ШОС (■), магнезиальной футеровки (□) и неметаллических включений (■) в формировании шлака в промежуточном ковше при разливке низкоуглеродистой (вверху) и низколегированной (внизу) стали

Из рис. 3 следует, что основной вклад в изменение состава шлака вносит всплывание неметаллических включений из разливаемой стали. Их доля в конечном шлаке первой серии опытов составляет 28%, а во второй – 31%. Растворение магнезиальной футеровки также играет значительную роль в процессе шлакообразования. Доля огнеупорных материалов в конечном шлаке в первой серии опытов составила 14,5%, а во второй – 12,8%.

Приведенные выше данные значительно отличаются от результатов исследования шлакообразования в промежуточном ковше, имеющем футеровку из шамотного кирпича [1]. Динамика шлакообразования по результатам этого исследования приведена на рис. 4.

Доля растворившейся шамотной футеровки в конечном шлаке составляет всего 3–4%, что в четыре раза меньше растворения магнезиальной футеровки. Однако при разливке низколегированной стали 17Г1С-У доля всплывших неметаллических включений была значительно выше – 51%.

Магнезиальная торкрет-масса имеет значительно более высокую температуру плавления, чем шамотный кирпич. Поэтому можно было ожидать, что магнезиальная футеровка промежуточного ковша будет медленнее растворяться в шлаке, чем футеровка шамотная.

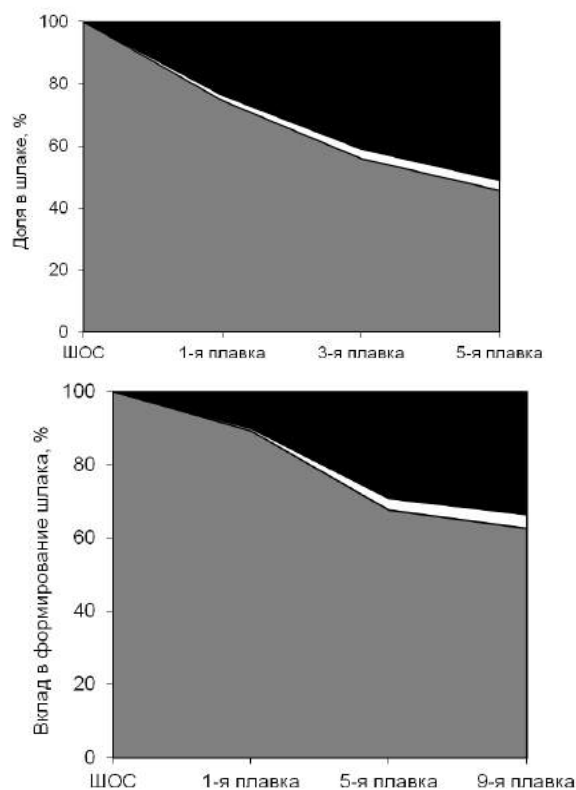


Рис. 4. Долевое участие ШОС (■), шамотной футеровки (□) и неметаллических включений (■) в формировании шлака в промежуточном ковше при разливке низкоуглеродистой (вверху) и низколегированной (внизу) стали [1]

Более интенсивное растворение магнезиальной футеровки объясняется материалами исследования её взаимодействия со шлаком [5]. В этом исследовании было установлено, что футеровка из магнезиальной торкрет-массы имеет пористую структуру. Шлак, получающийся при расплавлении шлакообразующей смеси, проникает в поры футеровки. Оксид кремния шлака вступает в реакцию с оксидом магния футеровки с образованием энстатита –  $MgO \cdot SiO_2$ , который инконгруэнтно плавится при температуре 1545°C. Наличие в шлаке таких компонентов, как CaO, MnO,  $Al_2O_3$  и других ведет к дальнейшему снижению температуры плавления энстатита. В процессе разливки рабочий слой футеровки нагревается до температуры, близкой к температуре разливки – 1540–1550°C. При

такой температуре рабочий слой ошлакованной футеровки постепенно плавится и переходит в шлак.

#### Выводы

1. В процессе разливки химический состав шлака в промежуточном ковше МНЛЗ существенно меняется. Ключевую роль в этом процессе играет поступление в шлак неметаллических включений, всплывающих из разливаемой стали.

2. Меньшую роль в изменении химического состава шлака играет растворение огнеупорной футеровки промежуточного ковша. При шамотной футеровке масса растворившихся в шлаке огнеупоров составляет около 3–4%, а при магнезиальной футеровке – 13–14% от массы конечного шлака.

3. Более интенсивное растворение футеровки из магнезиальной торкрет-массы вызвано химическим взаимодействием компонентов шлака, проникающего в поры футеровки, и оксида магния с образованием относительно легкоплавкой фазы – энстатита ( $MgO \cdot SiO_2$ ), переходящего в шлак.

#### Сведения об авторах

**Коротин Андрей Викторович** – аспирант кафедры химических технологий и физической химии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519)29851. E-mail: saturn2112@yandex.ru.

**Лозовский Евгений Павлович** – канд. техн. наук, инженер ЦЛК, ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Тел.: (3519)256914. E-mail: alekseev\_vl@mmk.ru.

**Дюльдина Эльвира Владимировна** – канд. техн. наук, проф. кафедры химических технологий и физической химии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: (3519)29851. E-mail: dev@magtu.ru

**Селиванов Валентин Николаевич** – канд. техн. наук, доц. кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: (3519)288449. E-mail: mcm@magtu.ru

#### Список литературы

1. Дюльдина Э.В., Селиванов В.Н., Лозовский Е.П. Формирование шлака в промежуточном ковше МНЛЗ // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. №4(28). С.26-29.
2. Изменение химического состава шлака при увеличении его массы в промежуточном ковше МНЛЗ / А.В. Коротин, Е.П. Лозовский, Э.В. Дюльдина и др. // Теория и технология металлургического производства: межрегион: сб. науч. тр. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. Вып. 14. С. 39-41.
3. Особенности шлакообразования в промежуточном ковше МНЛЗ с шамотной и магнезиальной футеровкой / В.Н. Селиванов, Э.В. Дюльдина, О.Ф. Рыбалко и др. // Труды XII конгресса сталеплавильщиков. М.: Металлургияздат, 2013. С. 283-286.
4. Использование математических моделей для исследования сталеплавильных процессов / В.Н. Селиванов, Ю.А. Колесников, Б.А. Буданов и др. // Сталь. 2014. №5. С. 16-20.
5. Изменение рабочего слоя футеровки промежуточного ковша МНЛЗ в процессе непрерывной разливки стали / Э.В. Дюльдина, В.Н. Селиванов, Б.Р. Гельчинский и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №1 (41). С. 23-26.

#### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

#### EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SLAGGING IN THE TUNDISH WITH MAGNESIAN LINED

**Korotin Andrey Viktorovich** – Postgraduate student, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: [saturn2112@yandex.ru](mailto:saturn2112@yandex.ru)

**Lozovskiy Evgeniy Pavlovich** – Ph. D. (Eng.), engineer of the central laboratory of the Magnitogorsk Iron and Steel Works. E-mail: [alekseev\\_vl@mmk.ru](mailto:alekseev_vl@mmk.ru)

**Dyuldina Elvira Vladimirovna** – Ph. D. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: [dev@magtu.ru](mailto:dev@magtu.ru).

**Selivanov Valentin Nikolaevich** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: [mcm@magtu.ru](mailto:mcm@magtu.ru).

**Abstract.** An experimental study of slag formation in the tundish CCM - lined magnesia gunning mass. It is established that during casting a series of melts the slag chemical composition varies substantially due to the dissolution of refractory materials, and it proceeds oxide inclusions from cast steel. Using the method of synthesis of experimental data and mathematical model of the slagging found that the dissolved fraction of refractory material is about 15% and the proportion of nonmetallic inclusions supernatants - approximately 30% by weight of the final slag. Comparison of the data obtained with the materials of an earlier pilot study of slag formation in the tundish lining of firebrick showed that the proportion of magnesia lining solution was 3-4 times greater than the chamotte lining. More intense transition in the slag magnesia lining explained filling it then melted slag and chemical reaction with the formation of relatively low-melting phase - the enstatite, then passing into the slag.

**Keywords:** steel, continuous casting, tundish, magnesia lining, slag, dissolution of the liner, floating up of the non-metallic inclusions.

## References

1. Dyuldina E.V., Selivanov V.N., Lozovskiy E.P. Formation of slag in intermediate ladle CCM. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I.Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2009, no.4(28), pp. 26-29.
2. Korotin A.V., Lozovskiy E.P., Dyuldina E.V., Selivanov V.N. Varying the chemical composition of the slag while increasing its weight in intermediate ladle CCM. *Theory and technology of metallurgical production: interregional collection of proceedings*. Magnitogorsk: Publishing the Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2014, no.14, pp. 39-41.
3. Selivanov V.N., Dyuldina E.V., Rybalko O.F. and other. Features of slag formation in the intermediate ladle caster with fireclay lining and of magnesians. *Proceedings of XII Congress of Steelmakers* [англ.]. Moscow: Metallurgizdat, 2013, pp. 283-286.
4. Selivanov V.N., Kolesnikov Y.A., Budanov B.N. and other. The use of mathematical models for exploring of steelmaking processes. *Stal* [Steel]. 2014, no.5, pp. 16-20.
5. Dyuldina E.V., Selivanov V.N., Gelchinskiy B.R. and other. Change the working layer of the lining intermediate ladle CCM in the process continuous casting of steel. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I.Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, no.1(41), pp. 23-26.



УДК 669.621.746.27:047

Вдовин К.Н., Точилкин В.В., Ячиков И.М., Тутарова В.Д.

## ОСОБЕННОСТИ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОЙ СТАЛИ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ СЛЯБОВОЙ МНЛЗ

**Аннотация.** С использованием математического моделирования показана возможность изменения конструкции погружного стакана при разливке стали 17Г1С на машине непрерывного литья заготовок. Установлено, что модернизированный стакан обеспечивает получение более качественного металла, так как исключается захват неметаллических включений с поверхности кристаллизатора.

**Ключевые слова:** сталь, кристаллизатор, машина непрерывной разливки, заготовка, сляб, погружной стакан.

Кристаллизатор является одним из основных узлов машины непрерывной разливки стали, где формируется корочка затвердевшей стали. Охлаждение поверхности заготовки в кристаллизаторе МНЛЗ происходит путем контакта внутренней (рабочей) поверхности кристаллизатора с поверхностью затвердевающего металла.

В кристаллизаторе жидкий металл, непрерывно подаваемый из промежуточного ковша через погружной стакан, кристаллизуется по периметру, и на выходе из него оболочка из затвердевшего металла образует сосуд с жидким металлом, внутри которого в направлении от стенок к центру продолжается кристаллизация, но форма непрерывно-литой заготовки и ее поперечные размеры уже определены формой и размерами полости кристаллизатора [1]. Интенсивному охлаждению подвергаются поверхностные слои залитой стали, поэтому в кристаллизаторе и на выходе из него заготовка имеет не затвердевшую часть (жидкое ядро) и твердую корку, которая должна обладать достаточной толщиной и прочностью, чтобы противостоять давлению столба жидкого металла и не допускать прорыва металла в машину непрерывного литья. Обычно такую толщину принимают в пределах от 15 до 40 мм в зависимости от размера заготовки.

Струя стали, попадающая в кристаллизатор из промежуточного ковша, имеет большую кинетическую энергию, достаточную для промешивания

больших объемов металла, что может повлечь за собой:

- более интенсивный прогрев стенки кристаллизатора;
- замедление нарастания твердой корочки;
- захват неметаллических включений с поверхности жидкого металла.

В представленной работе исследуются конвективные потоки стали в кристаллизаторе МНЛЗ с использованием математического моделирования при изменении:

- глубины погружения стакана в металл;
- конструкции погружного стакана (в том числе параметров отверстий его) [1].

Объектом исследования выбрана подсистема промежуточный ковш – погружной стакан – кристаллизатор одноручьевого комбинированной криволинейной слябовой МНЛЗ.

Такой кристаллизатор имеет следующие технические характеристики: базовая ширина – 2530 мм, толщина – 250 мм, высота – 900 мм. Исследование выполнялось для двух конструкций корундографитовых погружных стаканов (рис. 1).

Основное отличие модернизируемого стакана, представленного на рис. 1, б, в уменьшении размеров наружной поверхности и изменении геометрии выходного отверстия, основным из которых является наличие прорезей в нижней части.

Для исследования была выбрана конструкционная низколегированная сталь для сварных конструкций 17Г1С, как наиболее часто разливаемая в конвертерном цехе ОАО «ММК». Химический состав этой стали представлен в табл. 1.



Рис. 1. Схемы конструкций корундографитовых погружных стаканов базовой (а) и усовершенствованной (б) геометрии

Таблица 1

Химический состав стали марки 17Г1С, %

[C]	[Si]	[Mn]	[S]	[P]	[Cr]	[Ni]	[Cu]
0,175	0,5	1,2	0,018	0,015	0,065	0,075	0,065

При этом температура ликвидус составляет 1520<sup>0</sup>С, солидус – 1501<sup>0</sup>С.

Разработана математическая модель движения потоков стали в кристаллизаторе. При её составлении использованы уравнения Навье-Стокса, неразрывности потока и конвективной диффузии. Геометрия модели принята в зависимости от конструкции и глубины погружения выбранного стакана и параметров кристаллизатора. Основные уравнения имеют следующий вид [1, 2]:

$$\begin{cases} \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \vec{v}, \\ \nabla \vec{v} = 0, \\ \vec{u} \nabla C - D \nabla^2 C = 0, \end{cases}$$

где  $\vec{v}$  – вектор скорости жидкости;  $\vec{F}$  – объемные силы;  $p$  – давление жидкости;  $\nabla p$  – градиент давле-

ния;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости;  $\nabla^2 \vec{v}$  – лапласиан  $\vec{v}$ ;  $\rho$  – плотность стали;  $\vec{u}$  – вектор скорости движения частиц включений;  $C$  – концентрация примеси;  $D$  – коэффициент диффузии.

При расчете турбулентных течений металла в кристаллизаторе использовалась  $(k - \varepsilon)$  модель турбулентной вязкости [2-4]. При этом принималось, что на основании гипотезы Буссинеска коэффициент вязкости, входящий в уравнения Навье-Стокса, включает в себя молекулярную  $\mu$  и турбулентную  $\mu_T$  вязкости [3], а коэффициент эффективной вязкости определялся по формуле

$$\mu_{ef} = \mu + \mu_T.$$

С учетом гипотезы Буссинеска уравнения Навье-Стокса принимает вид

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{1}{\rho} \nabla (\mu_{ef} \cdot \nabla \vec{v}).$$

Турбулентная вязкость  $\mu_T$  определялась решением дополнительных уравнений распространения турбулентной энергии  $k$  и скорости ее диссипации  $\varepsilon$  [4]

$$\mu_T = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon}.$$

Вектор скорости включений  $\vec{u}$

$$\vec{u} = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 + u_0 \end{bmatrix},$$

где  $u_0$  – скорость всплытия включений в спокойной среде;  $C_\mu = 0,09$  – стандартный параметр  $(k - \varepsilon)$  модели;  $u_1, u_2, u_3$  – проекции скоростей течения жидкости на оси  $x_1, x_2, x_3$  соответственно.

Скорость  $u_0$  определяли по формуле Стокса [4] в интервале диаметров частиц  $d \in (0; 100)$  мкм.

При составлении математической модели приняты следующие допущения: объем промежуточного ковша, из которого подается сталь, изначально заполнен, вязкость стали зависит от ее агрегатного состояния; скорость истечения металла из промежуточного ковша в кристаллизатор постоянна и задана.

Математическое моделирование осуществляли с использованием CAD-системы SolidWorks 2012 пакета Flow Simulation.

Начальные условия включали задание температуры металла в промежуточном ковше 1527<sup>0</sup>С, скорости вытягивания заготовки 1,0 м/мин, динамическая вязкость стали, подаваемой в ковш, принимали равной 0,006 Па·с. Теплофизические параметры твердой и жидкой стали, используемые при расчете, приведены в табл. 2.

Таблица 2  
Теплофизические параметры стали

Параметры	Жидкая сталь	Твердая сталь
Плотность, $\frac{кг}{м^3}$	7400	7800
Теплопроводность, $\frac{Вт}{м \cdot К}$	29	35
Теплоемкость, $\frac{Дж}{кг \cdot К}$	695	678

Граничные условия учитывают температуру нагрева погружного стакана до 930<sup>0</sup>С, изменение температуры стенок кристаллизатора от 250 до 150<sup>0</sup>С вдоль фронта движения заготовки и температуру шлакообразующей смеси (ШОС) на поверхности зеркала металла в кристаллизаторе 1230<sup>0</sup>С.

Расчетные траектории и скорости движения конвекционных потоков стали в кристаллизаторе приведены на рис. 2 и 3.

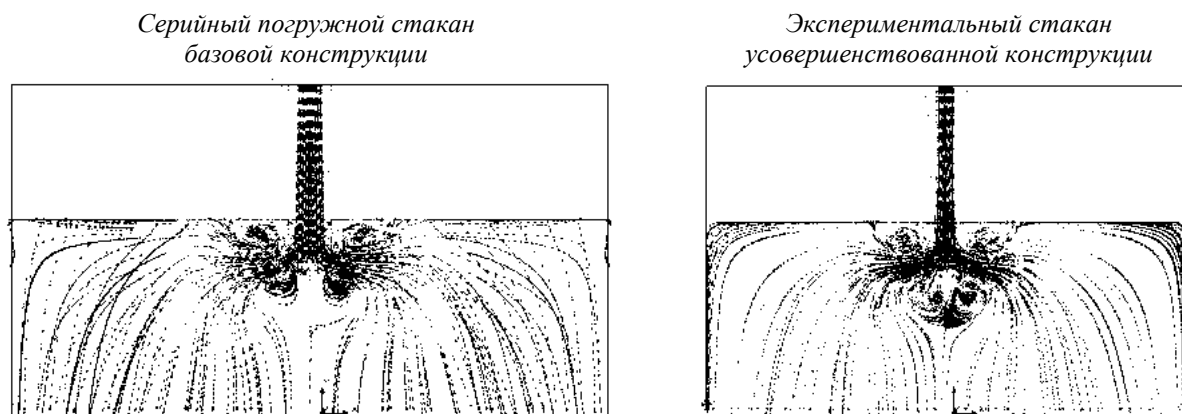


Рис. 2. Траектории движения конвекционных потоков стали в кристаллизаторе

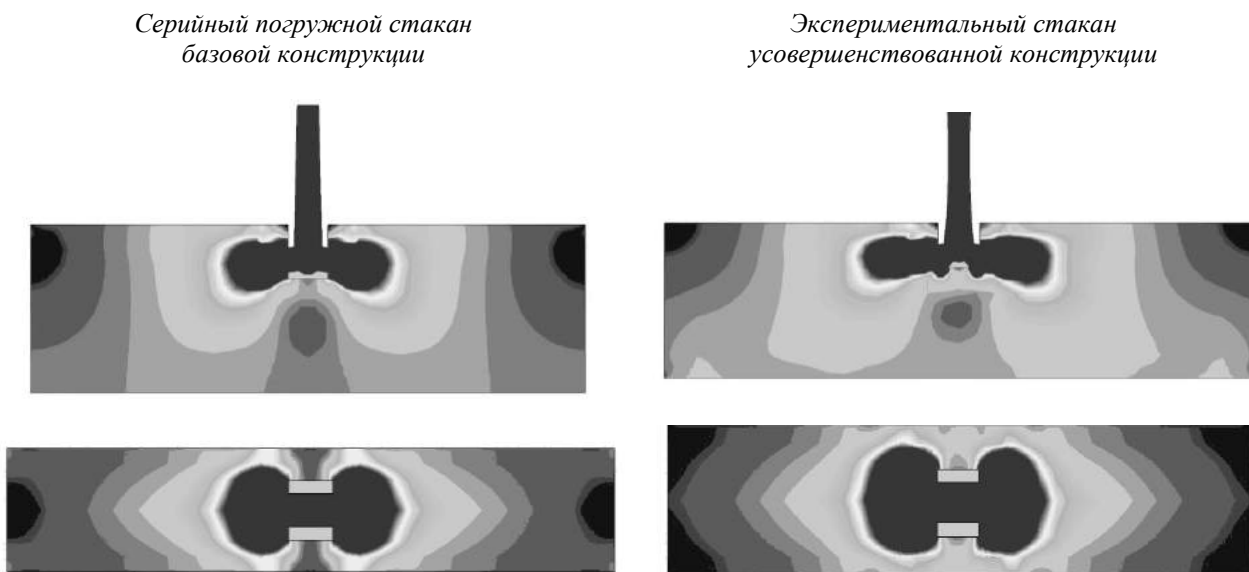


Рис. 3. Скорость движения конвекционных потоков стали в кристаллизаторе

В отличие от стакана упрощенной геометрии, погружной стакан с измененной геометрией (см. рис. 1, б) дает меньшую степень завихрения вблизи границы сталь – ШОС при всех уровнях погружения, но увеличивает скорость конвекционных потоков стали в кристаллизаторе, вызванных особенностями конструкции в виде прорезей.

Для стакана упрощенной конструкции вихревые потоки при погружении на номинальную глубину – их скорость значительно ниже 0,03 м/с. Для стакана измененной конструкции скорости движения конвекционных потоков стали в кристаллизаторе значительно выше, но вместе с тем распределены равномернее и достигают 0,04 м/с, что приводит к более активному

перемешиванию стали, особенно в нижней части кристаллизатора.

Таким образом, одним из вариантов совершенствования элементов системы промежуточный ковш – погружной стакан – кристаллизатор предложена новая конструкция погружных стаканов.

При использовании серийных погружных стаканов их следует заглублять в кристаллизатор на номинальный уровень, что позволит снизить степень захвата частиц шлакообразующей смеси с поверхности кристаллизатора и получить заготовку более высокого качества; используя экспериментальный стакан, уровень погружения его относительно зеркала металла, можно поддерживать на глубине не более 150 мм, что обеспечит более эффективное перемешивание стали и

достаточную толщину образовавшейся затвердевшей корочки стали на выходе из кристаллизатора.

#### Список литературы

1. Вдовин К.Н., Точилкин В.В., Ячиков И.М. Непрерывная разливка стали: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 540 с.
2. Вдовин К.Н., Семенов М.В., Точилкин В.В. Рафинирование стали в промежуточном ковше МНЛЗ: монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. 118 с.
3. Аксельрад Э.Л. Гибкие оболочки. М.: Наука, 1976. 376 с.
4. Ефимов В.А., Эльдарханов А.С. Технологии современной металлургии. М.: Новые технологии, 2004. 784 с.

#### Сведения об авторах

**Вдовин Константин Николаевич** – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: (3519) 29-85-30. E-mail: Vdovin@magtu.ru

**Точилкин Виктор Васильевич** – д-р техн. наук, проф., институт металлургии, машиностроения и материалобработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: toch56@mail.ru

**Тутарова Власта Диляуровна** – канд. техн. наук, доц., институт энергетики и автоматизированных систем ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: vlasta\_dev@mail.ru

**Ячиков Игорь Михайлович** – д-р техн. наук, проф. кафедры вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: Jachikov@mail.ru

---



---

#### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

---



---

#### FEATURES OF THE FLOW OF LIQUID STEEL IN THE MOULD THE KEY SLAB CASTER

**Vdovin Konstantin** – D. Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: [Vdovin@magtu.ru](mailto:Vdovin@magtu.ru)

**Tochilkin Victor** – D. Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: [toch56@mail.ru](mailto:toch56@mail.ru)

**Tutarova Vlasta** – Ph. D., Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: [vlasta\\_dev@mail.ru](mailto:vlasta_dev@mail.ru)

**Yachikov Igor** – D. Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: [Jachikov@mail.ru](mailto:Jachikov@mail.ru)

*Abstract. Mathematical simulation has shown the ability to change the design of the submersible of the glass with the 17GIS steel casting in a continuous casting machine. It is shown that upgrade glass provides quality metal, as it does not capture non-metallic inclusions from the surface of the mold.*

**Keywords:** steel, mould, continuous casting Machine, billet, slab, submersible glass.

#### References

1. Vdovin K., Tochilkin V., Yachikov I. *Nepreryvnaya razlivka stali: monografiya* [Continuous casting of steel: monograph]. Magnitogorsk: Publishing house of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2012. 540 p.
2. Vdovin PHD, Semenov M., Tochilkin V. *Rafinirovanie stali v promezhutochnom kovshe MNLZ: monografiya* [Refining of steel in the tundish of a continuous caster: monograph]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2006. 118 p.
3. Akselroad A. *Gibkie obolochk* [Flexible sheath]. Moscow: Nauka, 1976. 376 p.
4. Efimov V., Eldarhanov A. *Tekhnologii sovremennoj metallurgii* [The technology of modern metallurgy]. Moscow: New technologies, 2004. 784 p.



УДК 669.141.245

Буданов Б.А., Колесников Ю.А.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО СОДЕРЖАНИЯ АЗОТА В ТРАНСФОРМАТОРНОЙ СТАЛИ

**Аннотация.** Приведены возможные способы насыщения металла азотом при выплавке, ковшевой обработке и разливке трансформаторной стали. В качестве материалов использовали азотированные ферросплавы, карбамид, продувку металла азотом при выпуске его в сталеразливочный ковш и при обработке его на агрегате доводки стали, ввод порошковой проволоки с азотированным ферросилицием и обдув струи металла азотом при разливке. На основании полученных экспериментальных данных приведены рекомендации по обеспечению требуемого содержания азота в трансформаторной стали.

**Ключевые слова:** азот, карбамид, трансформаторная сталь, продувка азотом, азотированные ферросплавы, порошковая проволока.

Азот является основным фазообразующим элементом в трансформаторной стали с нитридным ингибированием структуры, а повышенные концентрации азота в металле существенно улучшают магнитные свойства стали [1, 2]. В условиях кислородно-конвертерного цеха ОАО «ММК» был опробован данный вариант выплавки трансформаторной стали. Одной из важных задач при освоении технологии выплавки такой стали в 370-тонных конвертерах, её ковшевой обработки на агрегате доводки стали (АДС) и разливки на машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) явилось обеспечение в ней содержания азота 80–120 ppm.

Получение такого содержания азота в металле потребовало опробования различных вариантов технологии его введения в трансформаторную сталь.

При выплавке первой серии плавов был опробован вариант введения азота в металл при раскислении присадкой в ковш азотированного феррохрома марки ФХН -1 ТУ 14-148-69-87 с содержанием азота около 6%. Расход азотированного феррохрома определяли из расчета получения в металле по прибытии ковша с металлом на участок ковшевой обработки 70–80 ppm азота.

Среднее содержание азота в маркировочных пробах стали составляло 76 ppm при среднем расходе азотированного феррохрома 200 кг на плавку.

Опробованная технология введения в металл азота при наличии азотированного феррохрома позволяла получать трансформаторную сталь, удовлетворяющую требованиям потребителя по содержанию в ней азота.

При проведении второй серии плавов в технологию раскисления металла внесли некоторые коррективы: из-за отсутствия азотированного феррохрома для получения содержания азота в трансформаторной стали в заданных пределах при выплавке данной серии использовали карбамид (мочевину), который присаживали во время выпуска металла в ковш. Содержание азота в мочеvine составляло около 46%. При контакте с жидким металлом происходит полная диссоциация карбамида на следующие составляющие:



Содержание азота в маркировочных пробах стали составляло 50–90 ppm при среднем расходе карбамида 250 кг на плавку. С использованием карбамида было выплавлено 40 плавов. Расход карбамида изменялся от 50 до 250 кг на плавку. Изменение содержания азота в металле некоторых плавов при различном расходе его приведено в табл. 1.

Таблица 1

Результаты применения карбамида для азотирования трансформаторной стали

Номер плавки	Расход карбамида в ковш, кг/плавку	Содержание азота в металле, ppm				
		на по-валке ( $[N]_{пов.}$ )	на АДС ( $[N]_{АДС}$ )	$\Delta[N] = [N]_{АДС} - [N]_{пов.}$	в стали ( $[N]_{от.}$ )	
1	150	20	50	30	30	80
2	250	10	50	40		80
3	250	20	50	30		90
4	250	20	40	20	20	90
5	100	20	30	10		80
6	100	20	40	20		80
7	100	20	50	30		н.д.
8	50	30	40	10	16	н.д.
9	50	30	60	30		н.д.
10	50	30	40	10		н.д.

Среднее содержание азота в маркировочной пробе составляло 80 ppm. С увеличением количества используемого карбамида возрастало содержание азота в стали и, по всей видимости, содержание водорода.

Во время проведения второй серии опытных плавов производилась дальнейшая отработка технологии получения требуемого содержания азота в металле: опробовали азотирование металла азотом, подаваемым в защитную трубу при разливке металла на МНЛЗ вместо аргона. Результаты использования азота в качестве защитного газа при разливке опытных плавов трансформаторной стали с целью насыщения её азотом приведены в табл.2.

Как следует из приведенных данных, замена аргона на азот в качестве защитного газа струи металла при разливке приводит к заметному повышению содержания азота в металле в среднем на 35 ppm.



При азотировании трансформаторной стали карбамидом были отмечены частые случаи появления дефекта «газовый пузырь» в непрерывно-литом слябе. На ряде плавков наблюдали «прорывы» корочки слитка во время разливки, а на многих отмечалось подвигание слитка.

Таблица 2  
Результаты опытов по применению азота в качестве защитного газа при разливке плавков трансформаторной стали

Номер плавки	Содержание азота в пробе металла, ppm					
	[N] <sub>пов</sub>	[N] <sub>АДС</sub>	Из кристаллизатора [N] <sub>кр</sub>	$\Delta[N] = [N]_{кр} - [N]_{АДС}$	Из-под струи при разливке [N] <sub>стр</sub>	$\Delta[N] = [N]_{стр} - [N]_{АДС}$
1	20	50	80	30	60	10
2	10	50	80	30	50	0
3	20	50	90	40	70	20
4	20	40	80	40	50	10
Среднее значение	17,5	47,5	82,5	35	57,5	10

По этой причине был проведен анализ технологических параметров выплавки, ковшевой обработки и разливки 15 опытных плавков трансформаторной стали. Опытные плавки были разбиты на две группы: с появлением дефекта «газовый пузырь» в непрерывно-литом слябе (пять плавков) и без указанного дефекта (десять плавков).

Заметных отличий в технологии выплавки и ковшевой обработки металла указанных групп не наблюдалось. Однако следует отметить, что температура металла на выпуске из конвертера на плавках без дефекта была в среднем на 13°C выше, а при ковшевой обработке на АДС в начале обработки она была еще выше и составила 17°C. Средний расход карбамида в ковш на плавках с дефектом составил 270 кг и был выше на 120 кг, чем на плавках без дефекта, что привело к повышению содержания азота в готовом металле на 10 ppm, которое составило 80 ppm.

С целью насыщения металла азотом, вместо карбамида при выплавке очередной серии опытных плавков трансформаторной стали была организована продувка металла газообразным азотом в ковше во время выпуска плавки. Продувку осуществляли через устройство, устанавливаемое в канале шибера затвора. Кроме того, при последующей обработке металла на агрегате доводки стали вместо аргона использовали азот. Результаты опытных плавков трансформаторной стали с продувкой азотом приведены в табл.3.

Установлено, что одна минута продувки металла азотом на АДС увеличивает его содержание на 3–4 ppm. Продувка металла азотом в течение 6–8 мин и последующая продувка аргоном обеспечивает получение в готовом металле содержание азота 60–80 ppm.

Легирование стали азотом с помощью вдувания газообразного азота на АДС и последующей обработки его аргоном производится при отсутствии азотированных ферросплавов – феррохрома и ферросилиция. После вдувания азота – обязательное вакуумирование

стали. Применение вакуумирования вызвано тем, что в начале освоения данного способа насыщения металла азотом были отмечены случаи появления газовых пузырей в непрерывно-литых заготовках, что, вероятно, связано с выделением азота при кристаллизации стали и попаданием влаги во время продувки азотом. Высокое содержание кремния в трансформаторной стали очень сильно повышает растворимость азота в жидком металле. Такой металл становится склонен к образованию газовых пузырей.

Таблица 3  
Результаты продувки металла опытных плавков азотом на содержание его в трансформаторной стали

Номер плавки	Продолжительность продувки азотом на АДС, мин	Содержание азота в пробе металла, ppm		
		на повалке	на АДС	на разливке
23	24,3	30	50 60 120	110 100 120
24	47,3	40	60 70 110 210	220 200 260
25	16,0 (19,0)*	50	90 80	110 120 110

\* Примечание. На плавке № 25 после 16 мин продувки металла азотом дополнительно вели продувку аргоном в течение 19 мин.

Осмотр темплетов и корочек от непрерывно-литых слябов прорывных плавков показал наличие в металле газовых пузырей различных по диаметру и длине.

Из 12 плавков, в которых были газовые пузыри диаметром 1–5 мм, семь плавков разлиты с прорывами и на всех были подвигания корочки слитка. на плавках с диаметром газового пузыря менее 1 мм подвигания и прорывы отсутствовали. При этом пузыри не имели выхода на поверхность и располагались на глубине 8 мм и более.

Пузыри, имеющие выход на поверхность сляба, то есть сообщающиеся с атмосферой, имеют окисленную поверхность, а у пузырей, не имеющих выхода, поверхность не окислена – блестящая.

Эти факты позволяют сделать вывод, что трансформаторная сталь в процессе производства была насыщена неокислительными газами до такой степени, что при разливке происходило образование газовых пузырей. Одни пузыри сообщаются с атмосферой и газы выделяются из металла, а другие – не имеют выхода на поверхность сляба и остаются внутри металла. Нормальный ход разливки затрудняется. Возникают «подвигания» и даже «прорывы» корочки слитка, приводящие к авариям.

Влияние способа азотирования на технологические параметры разливки представлено в табл.4.

Таблица 4  
Влияние способа азотирования трансформаторной стали на показатели разливки

Способ азотирования	Количество плавков	Разлито, плавков / %	
		с прорывами	с подвисаниями
Без дополнительного азотирования	16	1/6,2	1/6,2
Азотированным ферро-хромом	26	1/3,8	1/3,8
Карбамидом	40	4/10,0	9/22,5
Продувка азотом на АДС	107	2/1,9	10/9,3

Из приведенных данных следует, что применение карбамида для азотирования трансформаторной стали приводит к существенному ухудшению показателей разливки, а именно увеличению доли плавков разлитых с прорывами и подвисаниями. По этой причине в дальнейшем были вынуждены отказаться от технологии введения азота в металл присадкой карбамида.

Анализ контроля проб газообразного азота, отобранных при продувке трансформаторной стали на АДС показал, что влажность его составляла 3,57 г/м<sup>3</sup>. С учетом изменения «точки росы» при различных температурах возможно появление конденсата в азотной магистрали и, как следствие, насыщение металла водородом. Кроме того, источниками поступления водорода могут быть ферросплавы и твердая шлакообразующая смесь (ТШС), присаживаемые в ковш при выплавке металла [3].

Для количественной оценки содержания водорода в 65-процентном ферросилиции и в металле (после присадки ферросилиция в ковш) на семи плавках произведен отбор проб ферросилиция и металла для определения в них содержания водорода. Содержание водорода в ферросилиции колебалось от 6,9 ppm (7,72 см<sup>3</sup>/100 г) до 10,6 ppm (11,87 см<sup>3</sup>/100 г), а в металле этих плавков – от 3 ppm (3,38 см<sup>3</sup>/100 г) до 6 ppm (6,75 см<sup>3</sup>/100 г). Такое высокое содержание водорода в ферросилиции и большое количество его (около 5%), присаживаемое в ковш, могло явиться причиной насыщения металла водородом и возможного появления газовых пузырей в непрерывно-литом слябе.

В связи с этим в дальнейшем для ограничения возможного поступления водорода в металл при выплавке трансформаторной стали были предложены следующие мероприятия:

- производится обязательное удаление образовавшегося конденсата влаги перед обработкой первой плавки в серии продувкой трассы подачи азота на АДС в течение 8–10 мин;

- для получения заданного содержания азота в трансформаторной стали металл продувают азотом на АДС в течение 6–8 мин с последующей обработкой аргоном;

- непосредственно перед выплавкой серии трансформаторной стали производится прокаливание ферросилиция при температуре 500–600°C;

- обязательная сушка шлакообразующих материалов, применяемых при выплавке стали.

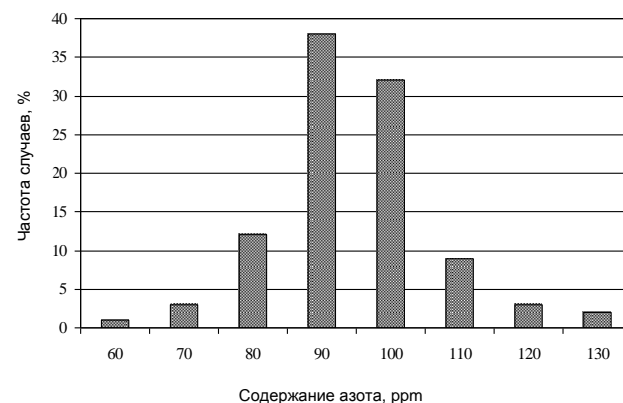
Реализация предложенных мероприятий при выплавке очередной серии опытных плавков трансформаторной стали позволила существенно снизить вероят-

ность аварийных ситуаций при разливке стали на МНЛЗ. В то же время после вакуумной обработки иногда имели место случаи получения содержания азота в металле менее 80 ppm. Тогда корректировка массовой доли его проводилась после вакуумной обработки стали на АДС, установке усреднительной продувки металла (УУПМ) путем ввода в ковш порошковой проволоки с азотированным ферросилицием (Фи75Н). Порошковую проволоку с азотированным ферросилицием (25–27% [N]) вводили в ковш по направляющей трубе со скоростью 150–170 м/мин. Расход проволоки по наполнителю колебался от 11–180 кг и в среднем составлял 58 кг. Расстояние между нижней частью направляющей трубы и уровнем металла в ковше составляло 300–400 мм. Такой режим ввода обеспечивал минимальный барботаж металла в месте ввода проволоки. Во время ввода проволоки продувку металла аргоном производили с минимальной интенсивностью, без оголения зеркала металла. Усвоение азота в среднем составило 19%.

Расход азотированного ферросилиция в виде порошковой проволоки для насыщения металла азотом составил:

расход порошковой проволоки, кг	50-60	80-90	110-120	140-150	170-180
увеличение содержания азота в металле, ppm	10	20	30	40	50

После обработки металла на вакуумной установке, последующей корректировки температуры и химического состава на АДС или УУПМ ковш с металлом передается для разливки на МНЛЗ или на установку ковш-печь (в случае недостаточной температуры металла для проведения нормальной разливки плавки или повышенного содержания серы). Частотное распределение содержания азота в литом металле на МНЛЗ представлено на рисунке.



Частотное распределение содержания азота в непрерывно-литых заготовках трансформаторной стали

Таким образом, при выполнении изложенных рекомендаций возможно получение в готовой транс-

форматорной стали требуемого содержания азота (например, 80–110 ppm для марки 0402Д).

**Список литературы**

1. Колесников Ю.А., Носов А.Д. Свойства и особенности производства трансформаторной стали // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2005. Вып. 5. С. 6–13.

2. Колесников Ю.А., Носов А.Д. Особенности технологии производства металла в условиях ОАО «ММК» для получения трансформаторной стали // Литейные процессы: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. Вып. 6. С. 62–69.

3. Буданов Б.А., Носов А.Д. Исследование поведения водорода в трансформаторной стали при вакуумировании и обработке ее на установке «печь-ковш» // Литейные процессы: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. Вып. 6. С. 43–51.

**Сведения об авторах**

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

**Колесников Юрий Алексеевич** – канд. техн. наук, доц. кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: (3519) 29-84-49.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

**PROVIDING OF THE DEMANDED CONTENT OF NITROGEN IN TRANSFORMER STEEL**

**Budanov Boris Aleksandrovich** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: 8(3519) 29-84-49.

**Kolesnikov Jury Alekseevich** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: 8(3519) 29-84-49.

**Abstract.** Possible ways of metal saturation by nitrogen during melting, ladle working and casting of transformer steel are given. The nitrated ferroalloys, carbamide, blowing with nitrogen, adding of powder wire with the nitrated ferrosilicon were used for saturation of metal with nitrogen. According to obtained experimental data, recommendations about providing the demanded content of nitrogen in transformer steel are provided.

**Keywords:** nitrogen, a carbamide, transformer steel, a purge nitrogen, the nitrated ferroalloys, a powder wire.

**References**

1. Kolesnikov J.A., Nosov A.D. Properties and features of manufacture of transformer steel. *Svoystva i osobennosti proizvodstva transformatornoj stali* [Theory and technology of metallurgical manufacture: Inter-regional col. of scien. pap. Ed. V.M. Kolokoltsev]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2005, № 5, pp. 6–13.

2. Kolesnikov J.A., Nosov A.D. Feature's of the "know-how" of metal in conditions of OJSC "MМК" for reception of transformer steel. *Osobennosti tekhnologii proizvodstva metalla v usloviyakh ОАО «ММК» dlya polucheniya transformatornoj stali* [Foundry processes: Inter-regional col. of scien. pap. Ed. V.M. Kolokoltsev]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2006, № 6, pp. 62–69.

3. Budanov B.A., Nosov A.D. Research's of behaviour of hydrogen in transformer steel at degassing out and its processing on "ladle-furnace". *Issledovanie povedeniya vodoroda v transformatornoj stali pri vakuumirovanii i obrabotke ee na ustanovke «pech'-kovsh»* [Foundry processes: Inter-regional col. of scien. pap. Ed. V.M. Kolokoltsev]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2006, № 6, pp. 43–51.



УДК 659.162.221.2

Скобельцын М.А., Селиванов В.Н.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ОТСОРТИРОВКИ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА ПО ДЕФЕКТАМ КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОГО ЦЕХА**

**Аннотация.** При разливке стали на машине непрерывного литья заготовок №6 ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» отмечается значительное увеличение отсортировки проката, полученного из слабов «запусковых» плавов и плавов, разлитых через новый промежуточный ковш. Проанализированы технологические факторы кислородно-конвертерного цеха, которые могут приводить к увеличению отсортировки проката: степень удаления неметаллических включений во время выплавки и доводки, содержание кислорода в готовом металле, футеровка промежуточного ковша, качество работы шлака в кристаллизаторе.

Основной причиной увеличенной отсортировки могут быть процессы, протекающие в кристаллизаторе, при которых сталь начинает охлаждаться до температуры кристаллизации. В начале разливки шлак в кристаллизаторе не обладает достаточной ассимилирующей способностью, что приводит к попаданию неметаллических включений в металл при его охлаждении до температуры кристаллизации. По ходу разливки шлак улучшает свою работу, и отсортировка металла снижается.

**Ключевые слова:** отсортировка металла, положение плавки в серии, неметаллические включения, кислородно-конвертерный цех, анализ.

Анализом производственных данных установлено, что при разливке стали на машине непрерывного литья заготовок №6 (МНЛЗ-6) ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» имеет место значительное увеличение отсортировки на так называемых «запускных» плавках и плавках, разлитых с использованием промежуточного ковша с новой футеровкой. В дальнейшем будем называть такие плавки «запускными». Для подтверждения производственных данных было проанализировано 116 тыс. т листового проката из низколегированной стали класса прочности К60 и К65. Результаты показали увеличение отсортировки в 3–4 раза по дефекту «неметаллические включения» на «запускных» плавках.

В проведенном ранее исследовании\* было установлено, что единственным отличием в технологии выплавки, доводки и разливки «запускных» плавков и остальных плавков серии явилась более высокая температура отдачи металла в отделение непрерывной разливки стали и, как следствие, более высокий перегрев металла над температурой ликвидус по 3-м замерам в промежуточном ковше.

В кислородно-конвертерном цехе ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» раскисление ведется путем ввода в сталеразливочный ковш ферросплавов и алюминия в конвертерном отделении и на участке внепечной обработки. Данный способ раскисления имеет существенные недостатки. В частности, для получения стали с низким содержанием неметаллических включений необходимо наладить специальный режим перемешивания металла аргоном для ускорения всплывания образующихся продуктов раскисления и последующей ассимиляции их покровным шлаком. Организовать качественное перемешивание металла аргоном через донные пробки не всегда удается в силу ряда причин: из-за отдачи легирующих материалов на дно сталеразливочного ковша в конвертерном отделении, превышения нормативного ресурса работы донных пробок, отсутствия подключения сталеразливочного ковша к магистрали с аргоном, низкого давления аргона в магистрали (менее 10 атм.), из-за остатка металла и шлака по дну сталеразливочного ковша и т.д. Все эти причины приводят к ухудшению работы донных пробок. Так, по статистике за первое полугодие 2014 года доля плавков, проведенных без замечаний по продувке, составила 94,3%, в

2013 году – 87,4%, в 2012 году – 84,6%. Эти данные показывают, что работа донных пробок оказывает влияние на удаление неметаллических включений. Впоследствии это может привести к отсортировке готового проката в листопрокатных цехах по дефектам сталеплавильного производства. Однако различий в технологии раскисления плавков различных в серии не отмечено, поэтому нельзя считать, что технология раскисления является основной причиной увеличения отсортировки металла на «запускных» плавках.

Другой возможной причиной увеличения отсортировки на «запускных» плавках по дефекту «неметаллические включения» может быть повышенный износ новой футеровки промежуточного ковша. В начале разливки металла через новый промежуточный ковш происходит интенсивное разрушение его футеровки, которое по ходу разливки уменьшается. На увеличение отсортировки на плавках, разлитых первыми в серии, и на плавках после замены промежуточного ковша может также оказывать влияние футеровка промежуточного ковша. В кислородно-конвертерном цехе применяются промежуточные ковши с шамотной футеровкой, а также ковши, футеровка которых изготовлена из магнезиальной торкрет-массы. Для того чтобы изучить степень влияния футеровки промежуточного ковша на отсортировку металла по дефектам сталеплавильного производства, во время разливки металла экспериментально использовали промежуточные ковши с футеровкой, выполненной из шамотного кирпича. В листопрокатном цехе №9 было переработано 3258 т металла класса прочности Х80, разлитого через промежуточные ковши, футерованные шамотным кирпичом, и 22233 т металла класса прочности Х80, разлитого через промежуточные ковши, покрытые торкрет-массой. Результаты переработки данного металла представлены в табл. 1.

Таблица 1

Отсортировка металла, разлитого через промежуточные ковши с различной футеровкой

Материал футеровки промежуточного ковша	Количество переработанного металла, т	Отсортировка металла по дефекту			
		«неметаллические включения»		«несоответствие класса сплошности»	
		т	%	т	%
Шамотный кирпич	3258	73,65	2,26	53,03	1,63
Торкрет-масса	22233	606,2	2,73	333	1,5

Как видно из табл. 1, отсортировка по дефектам «неметаллические включения» и «несоответствие класса сплошности» на металле, разлитом на проме-

\* Скобельцын М.А., Селиванов В.Н. Анализ влияния технологических параметров кислородно-конвертерного цеха на качество металлопродукции // Теория и технология металлургического производства. 2014. №1 (14). С. 36-38.

жучочных ковшах с различной футеровкой, различается мало. Это означает, что футеровка промежуточного ковша не оказывает существенного влияния на увеличение отсортировки по дефектам сталеплавильного производства.

Что же касается степени влияния футеровки на качество металла с плавков, разлитых первыми в серии, и с плавков после замены промежуточного ковша, то с имеющимися данными по МНЛЗ-6 сделать какой-либо вывод не представляется возможным, так как металл на МНЛЗ-6 за редким исключением разливается с использованием промежуточных ковшей, покрытых торкрет-массой и имеющийся массив данных непредставителен для проведения такого анализа. Поэтому для проведения анализа были взяты плавки, разлитые первыми в серии, и плавки после замены промежуточного ковша, разлитые на машинах непрерывного литья заготовок №-1-4 (МНЛЗ-1, 2, 3, 4). В листопрокатных цехах было переработано 3999 т металла, разлитого через промежуточные ковши, футерованные шамотным кирпичом, и 1229,22 т металла, разлитого через промежуточные ковши, покрытые торкрет-массой. Результаты переработки данного металла представлены в табл. 2.

Таблица 2

Отсортировка металла, разлитого на первых плавках в серии и на плавках после замены промежуточного ковша с различной футеровкой промежуточного ковша

Материал футеровки промежуточного ковша	Количество переработанного металла, т	Отсортировка металла	
		т	%
Шамотный кирпич	3999	180,4	4,52
Торкрет-масса	1229,22	60,9	4,95

Как видно из табл. 2, отсортировка металла практически не зависит от того, какой тип футеровки применяется в промежуточном ковше.

Еще одной причиной увеличения отсортировки на «запускных» плавках по дефекту сталеплавильного производства «неметаллические включения» может быть более высокое содержание кислорода в металле из-за более высокой температуры отдачи металла в отделение непрерывной разливки стали по сравнению с остальными плавками, разлитыми в серии на МНЛЗ.

Так как единственным отличием в технологии выплавки, доводки и разливки различных плавков в серии явилась более высокая температура отдачи металла в отделение непрерывной разливки стали и, как следствие, более высокий перегрев металла над температурой ликвидус по 3-м замерам в промежуточном ковше, то можно предположить, что это связано с экзотермическими реакциями, которые протекают в сталеразливочном ковше при раскислении стали.

В кислородно-конвертерном цехе согласно действующей технологии не производят замер окисленности металла перед отдачей в отделение непрерыв-

ной разливки стали (ОНРС). Поэтому для сравнения окисленности металла перед отдачей в ОНРС были проанализированы плавки, выплавленные в электросталеплавильном цехе (ЭСПЦ). Распределение содержания кислорода перед отдачей в отделение непрерывной разливки стали в металле на «запускных» плавках и плавках, разлитых в серии, представлено на рис. 1.

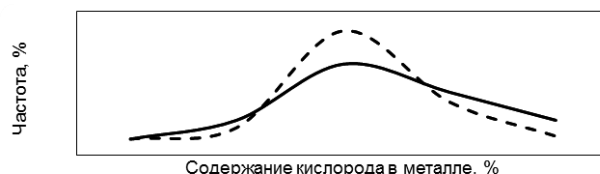


Рис. 1. Содержание кислорода перед отдачей в ОНРС на плавках, разлитых первыми в серии и на новый промежуточный ковш (---), и остальных в серии (—)

Проанализировав данные рис.1, можно сделать вывод, что содержание кислорода перед отдачей в ОНРС в металле на плавках, разлитых первыми в серии, на плавках после замены промежуточного ковша и плавках, разлитых в серии, практически одинаково.

Так как различия в содержании кислорода в металле перед отдачей в ОНРС на плавках различных в серии нет, то необходимо проанализировать содержание кислорода в готовом металле после разливки. Для проведения данного сравнения были отобраны 57 плавков класса прочности К60 и К65, в требованиях к заказу которых было прописано обязательное определение содержания кислорода в готовом металле после разливки на МНЛЗ-6. На всех 57-ми плавках отбирались макротемплеты от непрерывно-литых заготовок для оценки макроструктуры. От макротемплетов дополнительно отбирали пробы для определения содержания кислорода в готовом металле с использованием анализатора азота и кислорода ТС-436 фирмы LECO (США). В среднем содержание кислорода в готовом металле на запускных и плавках, разлитых через новый промежуточный ковш, составило 0,0015%, а на плавках, разлитых в серии, — 0,0013%. Распределение содержания кислорода в готовом металле на «запускных» плавках и плавках, разлитых в серии, представлено на рис. 2.



Рис. 2. Содержание кислорода на плавках, разлитых первыми в серии и через новый промежуточный ковш (---), и остальных плавков серии (—)

Проанализировав данные рис.2, можно сделать вывод, что содержание кислорода в готовом металле на плавках, разлитых первыми в серии, на плавках после замены промежуточного ковша и остальных плавках, разлитых в серии, практически одинаково, существенные различия отсутствуют. Это можно объяснить тем, что отличий в химическом составе запусковых плавков и плавков, разлитых первыми на промежуточный ковш, не наблюдается, так как технология раскисления плавков различных в серии не отличается.

Так как ни один из вышеперечисленных факторов не оказывает значительного влияния на увеличение отсортировки на «запусковых» плавках по дефектам сталеплавильного производства, то остается предположить, что причиной отсортировки могут яв-

ляться процессы, протекающие в кристаллизаторе, при которых сталь начинает охлаждаться до температуры кристаллизации. Это может происходить из-за недостаточной ассимилирующей способности шлака в кристаллизаторе, что может приводить к попаданию неметаллических включений в металл при охлаждении жидкого металла до температуры кристаллизации. В начале разливки шлак в кристаллизаторе не обладает достаточной ассимилирующей способностью и не способствует качественному удалению неметаллических частиц из металла. По мере хода разливки металла, шлак улучшает свою работу, и отсортировка металла снижается.

#### Сведения об авторах

**Скобельцын Михаил Андреевич** – инженер первой категории НТЦ ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». E-mail: [skobeltsyn.MA@mmk.ru](mailto:skobeltsyn.MA@mmk.ru)

**Селиванов Валентин Николаевич** – канд. техн. наук, доц., проф. каф. металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: [mcm@magtu.ru](mailto:mcm@magtu.ru)

---

### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

---

#### ANALYZE OF BASIC OXYGEN FURNACE TECHNOLOGICAL PARAMETERS INFLUENCE ON STEEL QUALITY

**Mikhail Andreyevich Skobeltsyn** – an engineer (the first category) of research and technological center JSC «Magnitogorsk iron and steel works». E-mail: [skobeltsyn.MA@mmk.ru](mailto:skobeltsyn.MA@mmk.ru)

**Valentin Nikolaevich Selivanov** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: [mcm@magtu.ru](mailto:mcm@magtu.ru)

**Abstract.** *It was found that there is an increase of defective steel on first melts in series of casting and on melts with new tundish during casting on continuous casting machine №6 of JSC «Magnitogorsk iron and steel works». During this research different technological parameters of oxygen-converter shop which could influence on increasing of defective production on first melts in series of casting and on melts with new tundish were analyzed. The work of slotplugs in steel ladle, effectiveness of argons work in mixing steel in ladle and quality of purifying steel from nonmetal impurities during melting and treatment of steel in ladle were also analyzed. The content of oxygen in steel before continuous casting and content of oxygen in slabs was also analyzed (on first melts in series of casting and on melts with new tundish and also on other melts (not the first in series)). The influence of refractories of tundish on increasing of defective steel was also analyzed.*

*The analyze didn't show the technological parameters, which were the main reason of increasing of defective steel on the first melts in series according to the other melts (not the first in series). We can just conjecture that increasing of defective production is linked with higher temperature of steel in the end of treatment of steel in ladle.*

**Keywords:** *defective production, position of melts in series, nonmetal impurities, oxygen-converter shop, analysis.*



УДК 669.14.018.256

Чуманов И.В., Иванин А.Д., Брусникова А.В.

## ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ПРОДУВКИ ЖИДКОЙ СТАЛИ ПОРОШКОМ ИЗВЕСТИ В СТРУЕ АРГОНА

*Аннотация.* Рассмотрена проблема математического моделирования процесса порошковой продувки стали, описаны существующие подходы к ее решению, а также предложен альтернативный метод моделирования на молекулярном уровне. Произведен расчет объема вычислительных ресурсов, требуемых для реализации данного метода, который обосновывает принципиальную возможность его применения.

*Ключевые слова:* десульфурация, шлак, продувка, частица, математическое моделирование, оперативная память, вычислительная мощность, массив.

В условиях возрастающих требований к качеству продукции металлургического производства растут и конкурентные преимущества, которые дают производителю даже небольшое превосходство в качественных показателях продукции, предлагаемой потребителю. В то же время достижение таких показателей не должно быть сопряжено с существенным ростом себестоимости, поскольку это может свести на нет все усилия по улучшению качества. Таким образом, двумя основными направлениями научных исследований в металлургии должны быть поиск методов достижения наилучших свойств продукции с одновременным сохранением (или даже уменьшением) затрат на производство.

Одним из важнейших показателей качества стали является содержание в ней серы. Для получения ультранизкого содержания серы в стали недостаточно просто наведения высокоосновного шлака. Поскольку реакция десульфурации имеет гетерогенную природу и происходит на границе раздела металл–шлак, для интенсификации процесса необходимо максимально увеличить поверхность этой границы. Наиболее эффективным способом достижения этой цели является вдувание в сталь порошкообразной извести в струе аргона. Такой способ решает сразу две задачи: во-первых, достигается наибольшая величина поверхности раздела за счет введения извести в виде порошка, а не в кусковом виде, а во-вторых, струя газа носителя внедряет порошок вглубь металла и осуществляет интенсивное перемешивание расплава.

Применение такого способа может дать существенное увеличение степени десульфурации и быть достаточно эффективным с экономической точки зрения при одном условии, что процесс будет вестись в оптимальном режиме, то есть будет подобрано такое сочетание параметров продувки, таких как давление газа, его расход, диаметр фурмы, конфигурация сопла, которое позволит производить внедрение порошка на достаточную глубину при качественном перемешивании. При этом время достижения заданной степени десульфурации должно быть правильно спрогнозировано, чтобы не затягивать процесс и экономить ресурсы.

Для выполнения описанных условий необходимо иметь достаточно точную математическую модель процесса, которая позволит подобрать оптимальные условия для различного набора исходных данных. Моделируемый процесс можно условно разделить на пять этапов:

- 1) внедрение газопорошковой струи в металл и ее распространение в нем;
- 2) процесс растворения частиц порошка в металле;
- 3) перемешивание металла и перемещение в нем растворенных частиц;
- 4) взаимодействие извести с растворенной в металле серой;
- 5) удаление образовавшихся соединений в шлак.

Для каждого из этапов существуют определенные теоретические и эмпирические исследования. Однако ключевым звеном, которое не позволяет на сегодняшний день объединить их в исчерпывающую модель всего процесса, является исходная задача первого этапа – моделирование процесса внедрения газовой струи в металл. По данной теме проведено немало исследований, но объединяет их следующий аспект: детализация моделирования в них остается весьма укрупненной. Например, в [1] зона распространения газа в металле рассматривается как единая «газожидкостная среда» без уточнения взаиморасположения компонентов этой среды. В [2] принимается упрощение, что газ при внедрении образует «прямоугольную выемку». Авторы работы [3] характеризуют внедрение газа двумя параметрами – глубиной и диаметром лунки. В работе [4] предпринята попытка более точно определить характер внедрения газовой струи в металл, форма границы раздела металл–газ принимается функцией координат и определяется вид этой функции. Основным упрощением здесь является тот факт, что граница раздела принимается стационарной и не рассматривается динамика ее развития во времени. Таким образом, упрощения, принимаемые в данных исследованиях, слишком велики, чтобы использовать их для формирования модели. Это связано с тем, что для моделирования процесса внедрения и распространения частиц порошка в метал-

ле необходимо знать, во-первых, конкретный профиль границы раздела металл–газ, с учетом отделения газовых пузырьков, а во-вторых, динамику изменения этого профиля. Известно, что при продувке металла струей газа ее внедрение вглубь жидкой фазы носит пульсационный характер, что значительно влияет на характер распространения включенных в газ частиц порошка. Поэтому, отказываясь от моделирования динамики процесса, мы допускаем слишком серьезное упрощение, которое не позволит достичь приемлемой точности моделирования.

Отсутствие исследований, которые моделировали бы процесс внедрения газовой струи в металл с достаточной степенью детализации, приводит к выводу, что применение обычных методов к решению этой задачи сталкивается с некоторыми трудностями. Более глубокое изучение проблемы показывает, что это действительно так. Попытка составления модели процесса при помощи численного решения уравнений Навье–Стокса сразу должна быть отвергнута ввиду того факта, что на границе раздела газ–металл происходит скачкообразное изменение параметров среды, причем данная граница непрерывно меняет свою форму. Функции, описывающие свойства среды, терпят разрыв и становятся недифференцируемыми на поверхности раздела. Определенный класс систем с движущейся границей раздела описывается так называемой задачей Стефана. Однако решение данной задачи основано на том, что граница раздела перемещается за счет процесса обмена веществом и энергией. В поставленной задаче граница раздела перемещается за счет других причин (хотя обмен энергией и происходит).

Процессы, происходящие на границе раздела фаз и приводящие к изменению формы этой границы, концентрируются в узком пограничном слое. Этот факт наводит на мысль о возможности прямого моделирования этих процессов на молекулярном уровне. Попытка такого моделирования в реальных масштабах, безусловно, не имеет смысла ввиду огромного числа молекул и длительного времени процесса. В этой ситуации следует использовать уменьшенную модель системы с целью добиться такого объема расчетов, с которым может справиться современная вычислительная техника.

Бесконечно уменьшать размер модели нельзя. Она должна оставаться настолько большой, чтобы дискретные свойства среды не оказывали влияние на течение процесса (т.е. система должна представлять собой сплошную среду). Для определения минимально допустимого масштаба модели используем критерий Кнудсена  $Kn = \lambda/L$ , где  $\lambda$  – длина свободного пробега молекулы,  $L$  – характерный размер системы. Систему можно считать сплошной средой при  $Kn \leq 10^{-2}$ . Наиболее «проблемным» с точки зрения сплошности среды является газ в продувочной фурме. Расчет показывает, что для обеспечения заданного значения  $Kn$  диаметр фурмы должен составить 0,1 мкм, а размер всей моделируемой системы – 10 мкм. Поскольку про-

цесс протекает симметрично относительно оси фурмы, трехмерную модель можно заменить двумерной.

Алгоритм вычислений (рис. 1), если не вдаваться в детали его реализации, достаточно тривиален. В ходе выполнения компьютерной программы, после инициализации исходных данных, происходит циклический перебор всех частиц с вычислением сил взаимодействия между ними, а также определением текущих скоростей и координат. Данный цикл включен в другой, внешний цикл, в котором происходит развитие процесса по оси времени. С учетом приведенного выше минимального размера системы, общее количество частиц составит порядка  $10^8$ , а время процесса около  $2 \cdot 10^{-8}$  с, что соответствует  $2 \cdot 10^{14}$  элементарных итераций процесса.

Для того чтобы определить, насколько реально произвести такой объем вычислений с использованием современной компьютерной техники, необходимо рассчитать два таких параметра, как требуемый объем оперативной памяти устройства и его вычислительная мощность.

Важным требованием к вычислительной машине является тот факт, что массив молекул, а также массив, содержащий номера «соседних» друг с другом молекул, должны целиком помещаться в оперативную память.

Одна молекула представляет собой определенный набор информации (координаты, скорость, тип и т.д.), этот набор включает в себя следующие типы данных: 1 переменную типа `ushort`, 12 – `double`, 1 – `bool`; объем памяти, занимаемый этими данными, составляет  $1 \cdot 16 + 12 \cdot 64 + 4 \cdot 64 + 1 \cdot 8 = 1048$  бит.

Массив «соседних» молекул будет хранить только номер молекулы типа `long`, который занимает 64 бит. Массив молекул, таким образом, будет занимать память  $1048 \cdot 10^8 \sim 100$  Гбит = 12,5 Гбайт;

Массив «соседних» молекул займет (из расчета 25 соседних на каждую молекулу)  $64 \cdot 25 \cdot 10^8 = 160$  Гбит = 20 Гбайт;

Таким образом, для хранения основных массивов необходима оперативная память  $12,5 + 20 = 32,5$  Гбайт.

Также следует учесть, что кроме хранения массивов оперативная память нужна для выполнения других операций. Поскольку точное значение требуемого объема памяти вычислить нельзя, можно принять оценку с запасом около 20% в 40 Гбайт.

Определить количество тактов процессора, затрачиваемое на выполнение одной итерации цикла, теоретическим путем не представляется возможным. Однако, осуществив пробный запуск программы на компьютере с известной производительностью, можно определить, что выполнение одной итерации эквивалентно 50000 операций с плавающей точкой. С учетом вычисленного ранее количества итераций цикла ( $2 \cdot 10^{14}$ ) получаем  $10^{19}$  операций с плавающей точкой для выполнения всего процесса моделирования.



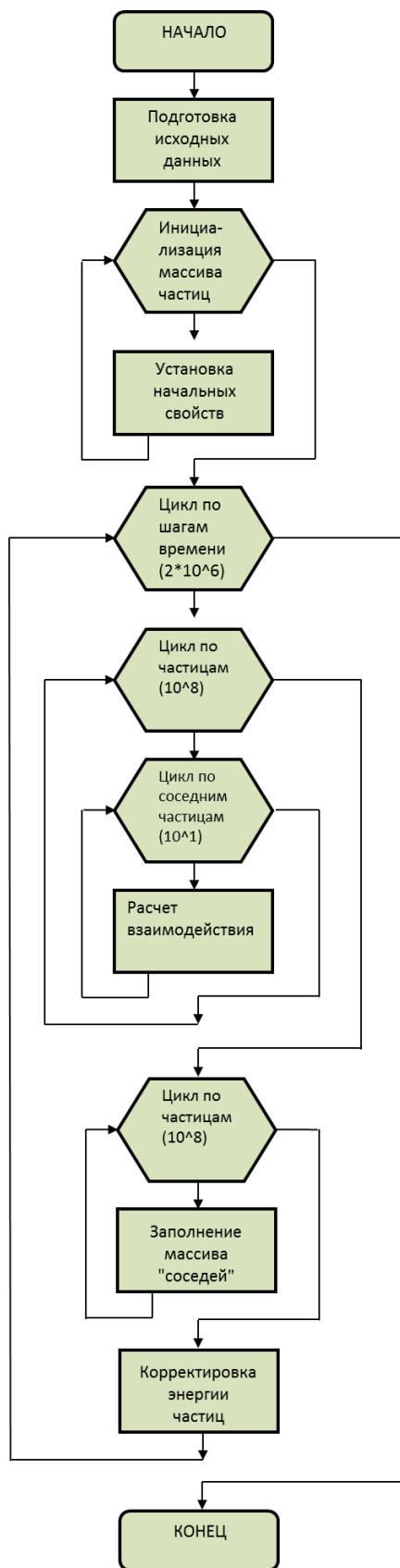


Рис. 1. Алгоритм компьютерной программы

Максимальное время, которое может выполняться полный расчет с выбранной точностью, установим равным 14 суткам или около  $14 \cdot 10^5$  с (именно такое время может быть выделено для выполнения процесса на суперкомпьютере). Тогда количество операций в секунду составит  $10^{19}/14 \cdot 10^5 = 7,14 \cdot 10^{12}$ .

Этот параметр характеризует производительность процессоров и носит название FLOPS. Таким образом, необходима совокупность процессоров с общей производительностью не менее 7,14TFLOPS. Аналогично расчету оперативной памяти следует учесть запас на непредвиденные задержки в скорости вычислений. Оценка с запасом около 20% будет составлять 8,5TFLOPS.

Исходя из полученных результатов, можно прийти к выводу, что выполнение моделирования с использованием обычного персонального компьютера нецелесообразно, однако, полученным требованиям (40 Гбайт + 8,5TFLOPS) удовлетворяет комбинация из нескольких узлов какого-либо суперкомпьютера. Так, например, суперкомпьютерный комплекс «Торнадо ЮУрГУ» [5] включает в себя 480 узлов общей производительностью около 288,2TFLOPS и оперативной памятью 16,9 ТВ. В результате достаточно двух узлов, если считать по оперативной памяти, или 15 узлов из расчета по производительности. Очевидно, что следует брать максимальную оценку, то есть 15 узлов.

Пробные вычисления с использованием персонального компьютера, обладающего объемом оперативной памяти 16 Гбайт и производительностью около 0,1 TFLOPS, позволили выполнить моделирование для  $10^5$  частиц. Выполнение программы длилось около 10 ч. Полученные результаты визуализированы (рис. 2) и качественно демонстрируют адекватное поведение модели. Однако даже такое количество частиц, участвующих в моделировании процесса, недостаточно для получения полной картины процесса, слишком велика роль дискретности среды.

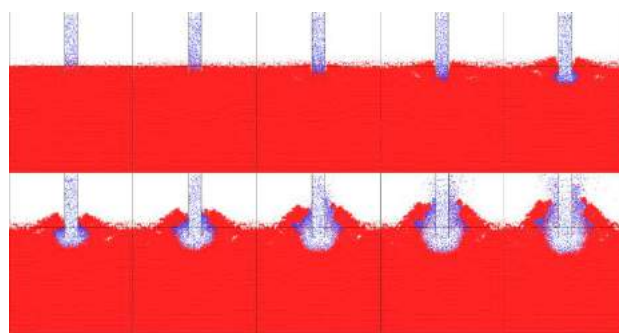


Рис. 2. Визуализация гидродинамики продувки металла инертным газом на персональном компьютере

Таким образом, для решения задачи моделирования вдувания газа в металл целесообразно использовать метод прямого моделирования на молекулярном уровне с использованием ресурсов суперкомпьютерного вычислительного центра. Приведенные расчеты

демонстрируют принципиальную доступность такого подхода. В результате моделирования станет ясна динамика внедрения газовой струи в расплав. После этого появится возможность смоделировать распространение в металле частиц порошка извести, а затем перейти к следующим этапам моделирования, для которых уже имеются серьезные теоретические и эмпирические исследования.

## Список литературы

1. Гизатулин Р.А., Протопопов Е.В., Самохвалов О.С., Самохвалов С.Е. // Изв. вузов. Черная металлургия. 2004. №12. С. 9-12.
2. Павлов И.Н., Кобеза И.И., Коваль В.П. // Труды Московского института стали и сплавов. М.: Металлургия, 1979. С. 46-49.
3. Чернятевич А.Г., Наливайко А.П., Приходько А.А. // Изв. вузов. Черная металлургия. 1984. №5. С. 44-48.
4. Чернятевич А.Г., Наливайко А.П., Приходько А.А. // Изв. вузов. Черная металлургия. 1982. №10. С. 155-156.
5. Официальный сайт ЮУрГУ [Электронный ресурс]. URL: <http://supercomputer.susu.ru/computers/tornado>.

## Сведения об авторах

**Чуманов Илья Валерьевич** – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой общей металлургии ФГБОУ ВПО «ЮрГУ». E-mail: Chiv71@susu.ac.ru

**Иванин Антон Дмитриевич** – аспирант кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: anton-ivanin@yandex.ru

**Брусникова Алёна Викторовна** – ассистент кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: Alenabru88@yandex.ru

---

 INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH
 

---

## THE SEARCH FOR THE OPTIMAL METHOD OF CONSTRUCTING A MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF BLOWING LIQUID STEEL WITH LIME POWDER IN A STREAM OF ARGON

**Chumanov Iliа Valerievich** – D. Sc. (Eng.), Professor, Head of the department of General metallurgy, South Ural State University. E-mail: Chiv71@susu.ac.ru

**Ivanin Anton Dmitrievich** – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, tel.: +79049736607, E-mail: anton-ivanin@yandex.ru

**Brusnikova Alena Viktorovna** – Teaching Assistant, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: Alenabru88@yandex.ru

**Abstract.** *The authors considered the problem of mathematical modeling of the process of blowing steel powder, described existing approaches to its solution, and also proposed an alternative method of modeling at the molecular level. Proposed calculation of the amount of computing resources required for the implementation of this method, which substantiates the fundamental possibility of its application.*

**Keywords:** *the desulfurization, slag, blowing, particle, mathematical modeling, RAM, computing power, an array*

## References

1. Gizatulin R.A., Protopopov E.V., Samohvalov O.S., Samohvalov S.E. Modeling the hydrodynamics of the melt in the ladle during the combined blowing through the top lance and gas-permeable insert. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya* [Steel in Translation]. 2004, no. 12. P. 9 – 12.
2. Pavlov I.N., Kobeza I.I., Koval V.P. Mathematical model of the motion of the melt in the steel bath under the action of the blown jet of oxygen. *Trudy Moskovskogo instituta stali i splavov: nauch. trudy*. Moscow: Metallurgiya. 1979, pp. 46 – 49.
3. Cherniatevich A.G., Nalivaiko A.P., Prihodko A.A. Numerical modeling of mixing and heat transfer in the converter. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya* [Steel in Translation]. 1984, no. 5, pp. 44 – 48.
4. Cherniatevich A.G., Nalivaiko A.P., Prihodko A.A. About the mathematical description of the interaction of the oxygen jet with metal melt. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya* [Steel in Translation]. 1982, no. 10, pp. 155 – 156.
5. Oficialniy sait YUrGU. URL: <http://supercomputer.susu.ru/computers/tornado>.



# ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЯ И ПРОИЗВОДСТВО ФЕРРОСПЛАВОВ

УДК 669.187

Ячиков И.М., Портнова И.В., Вдовин К.Н.

## ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ПОВЕДЕНИЕ ДУГИ И РАСПЛАВА В ДУГОВОЙ ПЕЧИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

***Аннотация.** Рассмотрены конструкции дуговых печей постоянного тока, которые дают возможность влиять на форму и положение электрической дуги. Предложены конструкции токоподводов к подовым электродам, позволяющие управлять кондукционным перемешиванием металла в жидкой ванне.*

***Ключевые слова:** магнитное поле, кондукционное перемешивание, дуговая печь постоянного тока, токоподвод, электрическая дуга.*

В металлургической промышленности достаточно широко распространены технологии с использованием больших электрических токов, протекающих через ванну расплава. Типичными примерами являются электрометаллургия, электрошлаковый и вакуумно-дуговой переплав, где металлургические расплавы представляют собой высокотемпературные токнесущие жидкости. Их поведение описывается законами магнитной гидродинамики, связанными с явлениями, которые возникают при взаимодействии проходящего через расплав электрического тока с его собственным и внешним магнитными полями.

Внешние магнитные поля могут оказывать как положительное, так и отрицательное воздействие на технологические процессы, протекающие в ванне дуговой печи постоянного тока (ДППТ). Так, при воздействии магнитного поля на токнесущий расплав, с одной стороны, возникают объемные электромагнитные силы, приводящие к кондукционному перемешиванию, что интенсифицирует протекание тепломассообменных процессов. С другой стороны, внешние магнитные поля могут приводить к возникновению интенсивных течений, вымывающих футеровку, к отклонению электрической дуги от вертикали или характерному ее движению по поверхности жидкого расплава [1]. Отсюда грамотное использование кондукционного перемешивания жидкой ванны позволяет повысить технико-экономические характеристики металлургического процесса, качество получаемого металла и свести к минимуму негативные воздействия.

Одним из возможных простых способов воздействия на расплав и электрическую дугу является внешнее магнитное поле, создаваемое специальными токоподводами к подовым электродам. Исследование поведения расплава в ванне ДППТ и электрической дуги при разной форме токоподвода к подовому электроду пока далеко до завершения. Однако

для теории и промышленной практики решение этой проблемы весьма интересно.

Целью данной работы является выявление способов создания внешних магнитных полей и их влияние на электрическую дугу и расплав в ванне ДППТ.

Для уменьшения воздействия внешних магнитных полей на электрическую дугу из литературы известны специальные конструкции печей.

При существующей наиболее распространенной конструкции подвода тока к подовому электроду в виде прямой жесткой шины электрическая дуга отклоняется в противоположную от токоподвода сторону. Для снижения влияния магнитного поля на электрическую дугу существует ряд конструкций ДППТ.

Авторы [2] предлагают в сводке ДППТ установить два графитированных электрода, разнесенных относительно друг друга и смещенных в поперечном направлении относительно средней плоскости плавильной ванны в сторону расположения источника тока. При этом на подине установлены четыре подовых электрода по обе стороны от средней плоскости плавильной ванны, которые располагаются в вершинах правильного симметричного квадрата относительно средней плоскости плавильной ванны. Токоподводы графитированных электродов параллельны между собой и проложены напрямую к источнику питания. Токоподводы первой пары подовых электродов прокладываются напрямую к источнику питания. Токоподводы второй пары подовых электродов сначала огибают графитированные электроды, а затем направляются к источнику питания. Такое расположение электродов и токоподводов направлено на взаимное уравновешивание возникающих магнитных эффектов при прохождении электрического тока, чтобы компенсировать влияние токоподводов на формирующиеся в плавильной ванне электрические дуговые разряды. В результате – электрические дуги подвергаются минимальным электромагнитным воздействиям.

В работе [3] предлагается конструкция ДППТ с одним сводовым и одним или несколькими подовыми электродами, смещенными от оси печи. По внешнему диаметру корпуса установлены три электромагнита постоянного тока. Они размещены выше максимального уровня металла, а их оси расположены под углом 120 град относительно друг друга. Электромагниты включаются в случае отклонения дуги от центра плавильной камеры. Термодары для контроля температуры расплава установлены выше уровня расплава на расстоянии не более 0,5 м друг от друга таким образом, чтобы их рабочие спай касались непосредственно нагреваемой поверхности слоя футеровки. В зависимости от перегрева области слоя футеровки, прилежащей к той или иной термопаре, осуществляется регулирование положения дуги. Предлагаемая конструкция направлена на компенсацию воздействия от внешних магнитных полей.

В работе [4] предлагается ДППТ, в которой подина выполняется из электропроводной каменной кладки и соединяется с кольцевым медным токоподводом, расположенным с внешней стороны подины. Токоподвод выполнен из следующих друг за другом по окружности сегментов с различными электропроводными контактными поверхностями и разными промежутками между сегментами, которые асимметрично распределяют по периферии печи. Для того чтобы электрическая дуга не отклонялась от вертикальной оси, подина выполнена таким образом, чтобы ее электрические свойства менялись в окружном направлении, благодаря чему относительно оси катода возникает асимметричное распределение тока. При этом возникающее отклонение электрической дуги внешними магнитными полями можно компенсировать таким образом, чтобы она находилась на оси катода.

Однако предлагаемые решения не позволяют эффективно воздействовать на процессы движения и перемешивания расплава, протекающие в жидкой ванне ДППТ. Они практически не влияют на электровихревые течения в области подового электрода и не устраняют большие застойные зоны в жидкой ванне и повышенный износ футеровки в области подового электрода.

Один из возможных способов управления процессом кондукционного перемешивания связан с изменением напряженности магнитного поля в разных областях токонесущего расплава ванны от внешних проводников с током. В патентах [5, 6] внешнее магнитное поле предлагается создавать посредством шины токоподвода к подовому электроду различной формы (рис. 1). Токоподводы могут быть выполнены в виде плоской спирали или спирали Архимеда, вертикальной или конической спирали и иметь один или несколько витков одного или разного диаметра (рис. 2). Внутри винтовой линии может находиться сердечник из ферромагнитного материала, перемещая который в вертикальном и горизонтальном

направлениях можно управлять изменением величины напряженности магнитного поля в разных областях токонесущего расплава ванны.

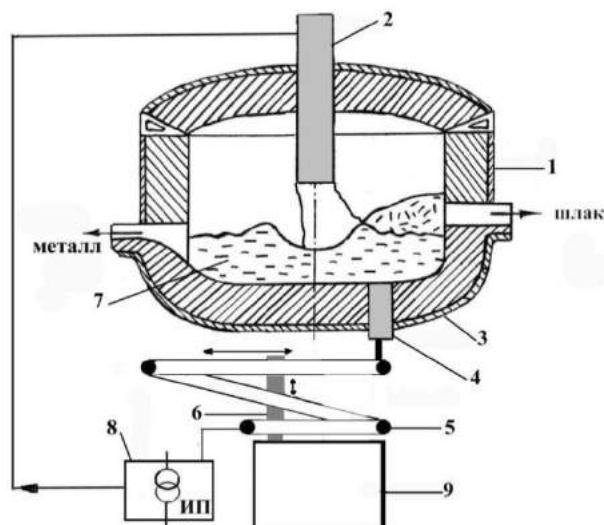


Рис. 1. Электродуговая печь постоянного тока:  
1 – корпус; 2 – катод; 3 – подина; 4 – подовый электрод;  
5 – токоподвод; 6 – ферромагнитный сердечник;  
7 – расплав; 8 – источник питания постоянного тока;  
9 – электропривод

В работе [7] проведена сравнительная оценка электровихревого и кондукционного силового воздействия на расплав в ванне ДППТ, имеющей один подовый электрод, смещенный относительно оси ванны. Оценка величин напряженности собственного магнитного поля, возникающего в ванне расплава за счет растекания токов, и магнитного поля, создаваемого круглым витком токоподвода, расположенным под подиной печи, показала, что величины полей имеют один порядок и оказывают примерно одинаковое силовое воздействие на расплав. Это говорит о том, что кондукционное перемешивание можно использовать независимо от электровихревого или совместно с ним.

В работах [8, 9] подробно описана математическая модель поведения горизонтальной и вертикальной составляющих магнитного поля в ванне дуговой печи при разных конструкциях токоподвода к подовому электроду. Посредством компьютерного моделирования установлено, что с увеличением количества витков токоподвода в виде пространственной спирали Архимеда наиболее рациональным является токоподвод из 2–3 витков. Для токоподвода в форме винтовой линии число витков должно быть не более 5–6, так как с их дальнейшим увеличением величина магнитного поля возрастает незначительно. Установлено, что наиболее перспективной является конструкция токоподвода в форме пространственной спирали Архимеда, так как при прочих равных условиях при компактной форме она обеспечивает более высокие значения напряженности магнитного поля в обрабатываемом расплаве.

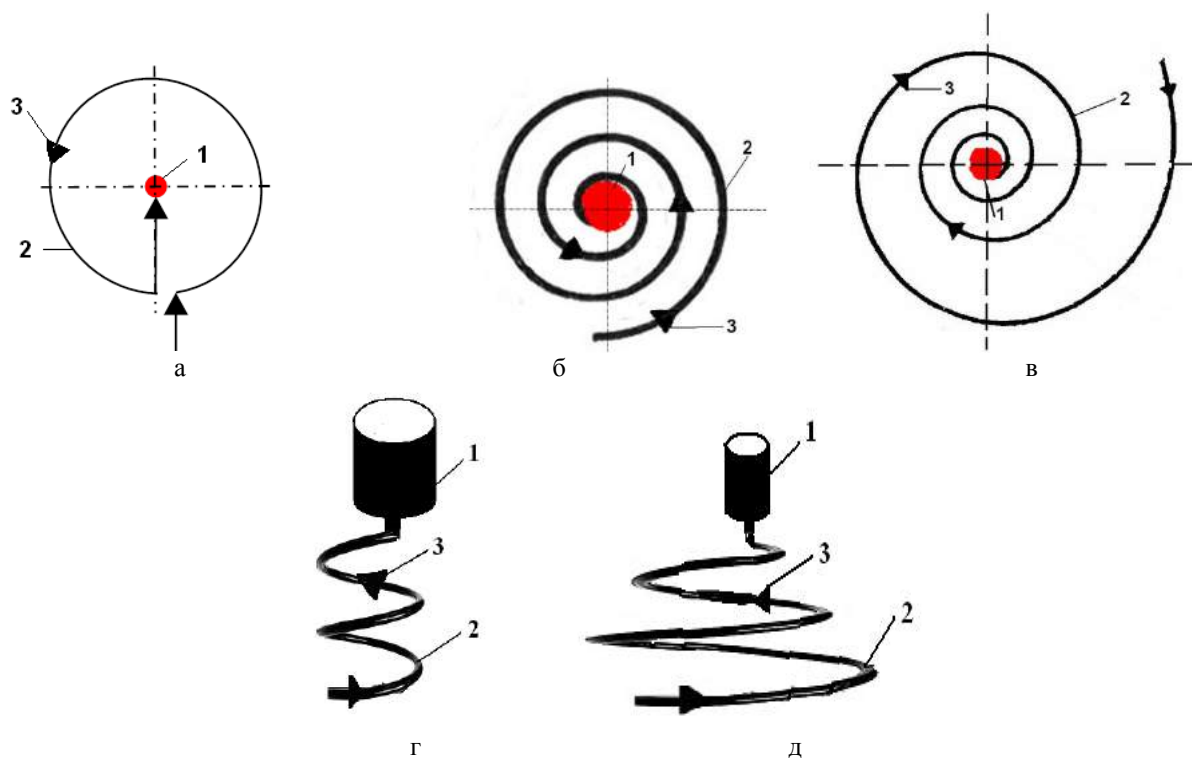


Рис. 2. Токоподводы к подовому электроду в виде:  
 а – одного витка; б – плоской спирали; в – плоской спирали Архимеда; г – цилиндрической спирали;  
 д – пространственной спирали Архимеда; 1 – подовый электрод; 2 – жесткая токоподводящая шина;  
 3 – направление тока

Таким образом, показаны возможности влияния внешних магнитных полей на электрическую дугу и расплав металла. Рассмотрены конструкции токоподводов различной формы, позволяющие управлять изменением величины напряженности магнитного поля в разных областях токонесущего расплава ванны, а значит, управлять положением и движением дуги, перемешиванием расплава и его движением в области футеровки вблизи подовых электродов. Кроме того, возможно увеличение стойкости футеровки боковых стенок и свода печи за счет центрирования дуги при ее отклонении от оси ванны ДППТ. Проанализированы токоподводы к подовому электроду и установлено, что наиболее перспективным является токоподвод в виде пространственной спирали Архимеда с 2–3 витками.

#### Список литературы

1. Ячиков И.М., Портнова И.В., Харченко О.А. Характер электровихревого течения металла в ванне ДППТ при изменении положения катода // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2009. № 3. С. 18–20.
2. Пат. 2040864 РФ, МПК<sup>7</sup> H05B7/20, H05B7/02, H05B7/11. Плави́льная электрическая печь постоянного тока / Р.А. Жаныяк, Н. Мейсон. Оpubл. 25.07.1995.
3. Пат. 115453 на ПМ РФ, МПК<sup>7</sup> F27B3/08. Электродуговая печь постоянного тока / И.Е. Синицын, А.М. Володин, А.К. Мусолин и др. Оpubл. 27.04.2012.
4. Пат. 2070777 РФ, МПК<sup>7</sup> H05B7/20, H05B7/11, F27B3/14. Дуговая электропечь постоянного тока / Э. Никс. Оpubл. 20.12.1996.
5. Пат. 119556 на ПМ РФ, МКИ<sup>7</sup> H05B 7/20. Электродуговая печь постоянного тока / Портнова И.В., Ячиков И.М., Харченко О.А. Оpubл. 20.08.2012. № 23.
6. Пат. 126810 на ПМ РФ, МКИ<sup>7</sup> H05B 7/20. Электродуговая печь постоянного тока / Ячиков И.М., Портнова И.В., Заляутдинов Р.Ю. Оpubл. 10.04.2013.
7. Ячиков И.М., Портнова И.В. Оценка эффективности электровихревого и кондукционного воздействия на расплав в ванне ДППТ // Теория и практика тепловых процессов в металлургии: сб. докл. междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург: УрФУ, 2012. С. 418–423.
8. Ячиков И.М., Заляутдинов Р.Ю. Исследование магнитного поля в ванне дуговой печи постоянного тока при разной форме токоподводящей шины к подовому электроду // Изв. вузов. Черная металлургия. № 3. 2014. С. 58–63.
9. Ячиков И.М., Портнова И.В., Заляутдинов Р.Ю. Моделирование поведения магнитного поля в ванне ДППТ при разных конструкциях токоподвода к подовому электроду // Математическое и программное обеспечение в промышленной и социальной сферах: междунар. сб. науч. тр. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 183–190.

## Сведения об авторах

**Ячиков Игорь Михайлович** – д-р техн. наук, проф. кафедры вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: (3519)29-85-63. E-mail: jachikov@mail.ru

**Портнова Ирина Васильевна** – инженер кафедры вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: iragzt@mai.ru МГТУ.

**Вдовин Константин Николаевич** – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: (3519) 29-85-30. E-mail: Vdovin@magtu.ru

---



---

 INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH
 

---



---

**INFLUENCE OF EXTERNAL MAGNETIC FIELDS ON ARC BEHAVIOR AND MELT IN DC ARC FURNACE**

**Yachikov Igor Mikhailovich** – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: 8(3519)29-85-63. E-mail: jachikov@mail.ru.

**Portnova Irina Vasilevna** – engineer, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: 8(3519)29-85-63.

**Vdovin Konstantin Nikolaevich** – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: 29-85-30. E-mail: [Vdovin@magtu.ru](mailto:Vdovin@magtu.ru)

**Abstract.** Considered design arc furnaces DC, which give the opportunity to influence the shape and position of the electric arc. The proposed design of the current leads to the bottom electrodes, allowing to control mixing conductive metal in the liquid bath.

**Keywords:** magnetic field, conductive mixing, arc furnace DC, current lead, electric arc

## References

1. Yachikov I.M., Portnova I.V., Harchenko O.A. Character electro turbulence of current of metal in a bath at DC arc furnace at change of a situation of the cathode. *Karakter ehlektrovikhrevogo techeniya metalla v vanne DPPT pri izmenenii polozheniya katoda* [Vestnik Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2009. № 3. P. 18–20.
2. Pat. RU 2040864 МПК7 H05B7/20, H05B7/02, H05B7/11
3. Pat. RU 115453 МПК7 F27B3/08
4. Pat. RU 2070777 МПК7 H05B7/20, H05B7/11, F27B3/14
5. Pat. RU 119556 МК17 H05B 7/20 DC.
6. Pat. RU 126810 МПК7 H05B7/20, H05B7/06, H05B7/11, F27B3/08.
7. Yachikov I.M., Portnova I.V. Evaluation of the effectiveness electrovortex and conductive effect on the melt in the bath DCAF. *Teoriya i praktika teplovykh protsessov v metallurgii* [Theory and practice of thermal processes in the metallurgical industry]. Ekaterinburg: Ural Federal University, 2012, pp. 418–423.
8. Yachikov IM, Zalyautdinov RY Investigation of the magnetic field in the bath DC arc furnace at different busbars to form the bottom electrode. *Izv. vuzov. Chernaya metallurgiya* [Proceedings of the universities. Ferrous metallurgy]. 2014, № 3, pp. 58–63.
9. Yachikov I.M., Portnova I.V., Zalyautdinov R.Y. Modeling the behavior of the magnetic field in the bath DCAF at different designs of current feeders to the bottom electrode. *Matematicheskoe i programnoe obespechenie v promyshlennoj i sotsial'noj sferakh* [Mathematical and software in the industrial and social spheres: Intern. Sci. scientific. tr.] Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2012, pp. 183–190.



УДК 621.001.76

Ячиков И.М., Вдовин К.Н., Костылева Е.М.

**АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ДУГУ В ТРЕХФАЗНОЙ ДУГОВОЙ ПЕЧИ**

**Аннотация.** Рассмотрена математическая модель для оценки среднеинтегрального действия основных электромагнитных сил на дугу. Показано, что наиболее существенное влияние на поведение электрической дуги и ее форму в ванне трехфазной дуговой печи оказывают силы взаимодействия между токами дуг и электродов, силы взаимодействия с токами, протекающими через жидкий металл, и выпрямляющая сила.

**Ключевые слова:** трехфазная дуговая печь, электрическая дуга, столб электрической дуги, электромагнитная сила, выпрямляющая сила, пинч-эффект.

В настоящее время для выплавки черных, цветных металлов и их сплавов применяются электродуговые печи. Источником тепла в них служат электрические дуги. От положения и формы дуги во многом зависит тепловое состояние металла и шлака, стойкость футеровки печи. Эти факторы необходимо учитывать при конструировании и эксплуатации печей, а также автоматизации их работы.

Дуга представляет собой легкоподвижный проводник, на который действуют электромагнитные силы со стороны токов, протекающих между дугами через жидкий металл, со стороны токов других дуг, сила сжатия дуги посредством пинч-эффекта, кроме этого, при отклонении формы дуги от прямой линии возникает выпрямляющая сила. В разное время поведение и роль этих четырех сил на электрическую дугу в трехфазной дуговой печи изучались немецким исследователем И. Вочке [1] и рядом отечественных ученых: А.В. Егоровым [2], А.Н. Макаровым [3, 4], Ю.М. Мироновым [5] и др. Однако при рассмотрении этих и других работ осталось непонятным, как были получены некоторые функциональные зависимости и как их можно применить в условиях трехфазной печи переменного тока. Кроме этого, интересно было бы иметь анализ соотношения этих сил в зависимости от расположения электродов и токов дуги.

Целью данной работы является описать математическую модель для оценки среднеинтегрального действия основных электромагнитных сил на дугу; провести анализ и выявить среди них наиболее существенно оказывающие влияние на поведение электрической дуги в ванне трехфазной дуговой печи.

Рассмотрим электромагнитную силу, действующую на столб дуги, от токов, протекающих через жидкий металл, в трехфазной дуговой печи переменного тока. Будем считать, что оси дуг горят перпендикулярно поверхности металлической ванны (оси их совпадают с осями электродов), действующее значение линейных токов одинаковое. Электрическая ось токопроводящего слоя между дугами расположена на глубине  $\Delta$  от поверхности металла [2]. Для жидкой стали эту величину можно принять примерно равной половине глубине проникновения поля промышленной частоты  $\Delta \approx \Delta_0 / 2 = 3,2-3,6$  см, где  $\Delta_0 = \sqrt{\rho / (\pi \mu_0 \nu)}$ ,  $\rho$  - удельное электросопротивление жидкой стали;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  (В с)/(А м) - магнитная постоянная;  $\nu = 50$  Гц.

Проанализируем электромагнитную силу, действующую на ток дуги  $i_0$  со стороны тока, протекающего через металл от другой дуги  $i_1$  (рис. 1). Для этого найдем напряженность магнитного поля в точке

A, находящейся на дуге длиной  $l_a$ , создаваемого прямым горизонтальным отрезком провода CB длиной  $l$ , через который протекает ток  $i_1$ . Ее можно определить как [8]

$$H = \frac{i_1}{4\pi(\Delta + z)} (\cos(\alpha) - \cos(\alpha_0)). \quad (1)$$

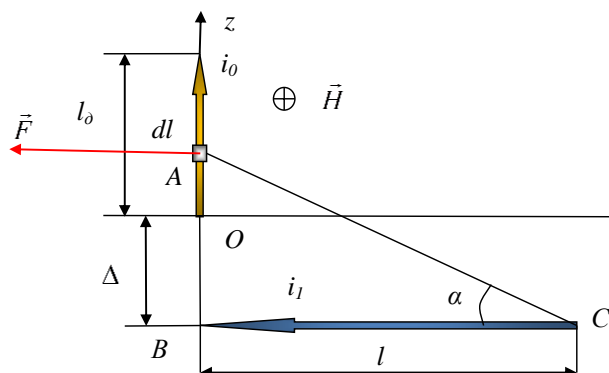


Рис. 1. К расчету напряженности магнитного поля и электромагнитной силы на проводник со стороны перпендикулярного проводника конечной длины

Вектор напряженности магнитного поля перпендикулярен плоскости ABC. Подставляя  $\alpha_0 = \pi / 2$  и

$$\cos(\alpha) = \frac{l}{\sqrt{l^2 + (\Delta + z)^2}}, \text{ получим}$$

$$H = \frac{i_1}{4\pi(\Delta + z)} \frac{l}{\sqrt{l^2 + (\Delta + z)^2}}. \quad (2)$$

Сила, действующая на элемент дуги  $dl$  в точке A, совпадает с направлением тока  $i_1$  и модуль ее определяется как  $dF = \mu_0 i_0 dl \times H$ . Полная сила, действующая на проводник  $l_0$ :

$$F = \frac{\mu_0 i_1 i_0 l}{4\pi} \int_0^{l_a} \frac{1}{(\Delta + z)\sqrt{l^2 + (\Delta + z)^2}} dz. \quad (3)$$

Интеграл в этом выражении можно взять по частям, получим

$$\int_0^{l_a} \frac{1}{(\Delta + z)\sqrt{l^2 + (\Delta + z)^2}} dz = \frac{1}{l} \ln \left[ \frac{(\sqrt{l^2 + \Delta^2} + l)(\Delta + l_a)}{\Delta(\sqrt{(l_a + \Delta)^2 + l^2} + l)} \right].$$

Результирующая сила

$$F = \frac{\mu_0 i_1 i_0}{4\pi} \ln \left[ \frac{(\sqrt{l^2 + \Delta^2} + l)(\Delta + l_a)}{\Delta(\sqrt{(l_a + \Delta)^2 + l^2} + l)} \right]. \quad (4)$$

Найдем токи, протекающие через жидкий металл, в трехфазной дуговой печи переменного тока. Считаем, что в электрической схеме замещения три фазы приемника имеют одинаковые фазные сопротивления  $Z_{AB}=Z_{BC}=Z_{CA}$ , которые соединены в треугольник. Тогда, независимо от характера нагрузки, напряжение на каждой фазе приемника равно линейному напряжению  $U_{\phi}=U_{\phi}$ , но фазные и линейные токи не равны между собой [6].

При заданном напряжении и сопротивлении фаз нагрузки фазные токи можно определить как:

$$i_{AB} = \frac{U_{AB}}{Z_{AB}} = I \sin(\omega t), \quad i_{BC} = \frac{U_{BC}}{Z_{BC}} = I \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}),$$

$$i_{CA} = \frac{U_{CA}}{Z_{CA}} = I \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}),$$

где  $I$  - амплитудное значение фазного тока. Соответственно линейные токи:

$$i_A = i_{AB} - i_{CA}; \quad i_B = i_{BC} - i_{AB}; \quad i_C = i_{CA} - i_{BC}.$$

Сила тока, проходящая через фазу A:

$$i_A = i_{AB} - i_{CA} = I\sqrt{3} \sin(\omega t - \frac{\pi}{6}). \quad (4)$$

Рассмотрим электромагнитную силу, действующую на ток дуги  $i_0 = i_A$  со стороны трех фазных токов  $i_{AB}$ ,  $i_{BC}$ ,  $i_{CA}$ , протекающих через металл. Результирующая сила есть векторная сумма трех сил  $F_{AB}$ ,  $F_{BC}$ ,  $F_{CA}$ , модуль каждой из которых зависит от среднего значения произведения токов:

$$\frac{1}{T} \int_0^T i_{AB} i_A dt = \frac{\sqrt{3}}{4} I^2, \quad \frac{1}{T} \int_0^T i_{CA} i_A dt = -\frac{\sqrt{3}}{4} I^2,$$

$$\frac{1}{T} \int_0^T i_{BC} i_A dt = 0.$$

Последнее выражение говорит о том, что на дугу фазы A действуют только силы со стороны фазных токов  $i_{AB}$  и  $i_{CA}$ , направление сил и их равнодействующая показаны на рис. 2. Модуль равнодействующей силы пропорционален  $\sqrt{3}I^2/4$ . С учетом действующего значения линейного тока  $I_{дл} = \sqrt{3}I/\sqrt{2}$

$$F_M = \frac{\mu_0 I_{дл}^2}{8\sqrt{3}\pi} \ln \left[ \frac{(\sqrt{l^2 + \Delta^2} + l)(\Delta + l_{д})}{\Delta(\sqrt{(l_{д} + \Delta)^2 + l^2} + l)} \right]. \quad (5)$$

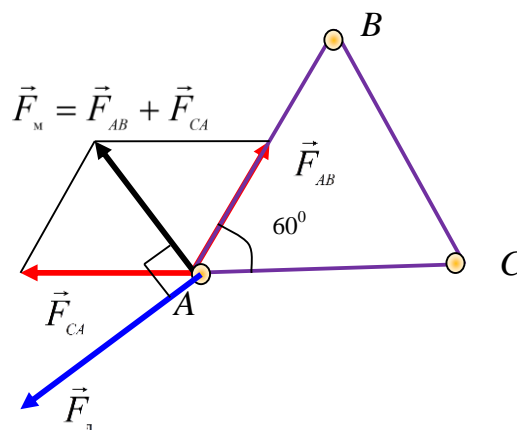


Рис. 2. Направление равнодействующей электромагнитной силы, действующей со стороны фазных токов  $\vec{F}_M$  и со стороны линейных токов  $\vec{F}_d$  на электрическую дугу

Рассмотрим вторую электромагнитную силу, действующую на столб дуги — силу электромагнитного взаимодействия с другими дугами и токами, протекающими через графитированные электроды. Она действует (рис. 3) на ток дуги  $i_0$  со стороны другого тока  $i_1$ , протекающего по графитированному электроду длиной  $l_{\phi 0}$  и дуге  $l_{\phi}$ . Найдем напряженность магнитного поля в точке A, находящейся на дуге длиной  $l_{\phi}$ , создаваемого прямым вертикальным отрезком провода BC длиной  $l_{\phi} + l_{\phi 0}$ , через который протекает ток  $i_1$ . Вектор напряженности магнитного поля перпендикулярен плоскости ABC. Подставляя в формулу (1)

$$\cos(\alpha_1) = \frac{z}{\sqrt{l^2 + z^2}},$$

$$\cos(\alpha_2) = \cos(\pi - \alpha_3) = -\cos(\alpha_3) = \frac{l_{д} + l_{\phi 0} - z}{\sqrt{l^2 + (l_{\phi} + l_{\phi 0} - z)^2}},$$

получим

$$H = \frac{i_1}{4\pi l} \left( \frac{z}{\sqrt{l^2 + z^2}} + \frac{l_{д} + l_{\phi 0} - z}{\sqrt{l^2 + (l_{\phi} + l_{\phi 0} - z)^2}} \right). \quad (6)$$

Сила, действующая на элемент дуги  $dl$  в точке A, перпендикулярна направлению тока  $i_1$  и модуль ее определяется как  $dF = \mu_0 i_0 dl \times H$ . Полная сила, действующая на проводник  $l_{\phi}$ :

$$F_A = \frac{\mu_0 i_0 i_1 l_{\phi}}{4\pi} \int_0^{l_{\phi}} \left( \frac{z}{\sqrt{l^2 + z^2}} + \frac{l_{д} + l_{\phi 0} - z}{\sqrt{l^2 + (l_{\phi} + l_{\phi 0} - z)^2}} \right) dz. \quad (7)$$



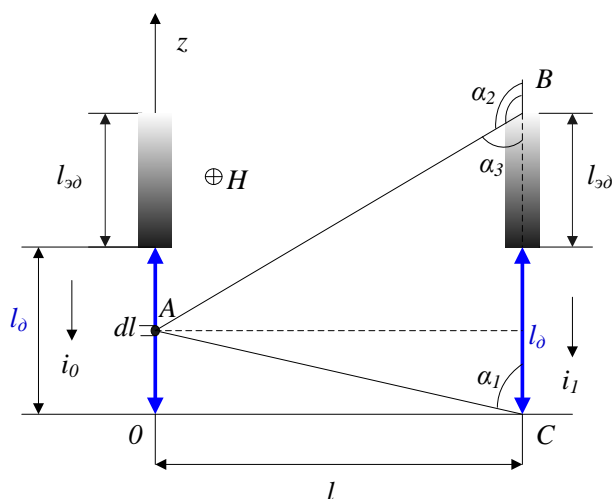


Рис. 3. К расчету напряженности магнитного поля и электромагнитной силы на проводник со стороны параллельного проводника конечной длины

Найдем силу взаимодействия одной из дуг трехфазной дуговой печи переменного тока с двумя другими дугами. Токи, протекающие по дугам  $i_1 = I \sin(\omega t)$ ,  $i_2 = I \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$ ,  $i_3 = I \sin\left(\omega t + \frac{4\pi}{3}\right)$ , где  $I$  - амплитудное значение линейного тока. Среднеинтегральные силы взаимодействия первого и второго токов по периоду  $F_{12}$  и первого и третьего токов по периоду  $F_{13}$  пропорциональны  $\frac{1}{T} \int_0^T i_1 i_2 dt = -\frac{I^2}{2}$

и  $\frac{1}{T} \int_0^T i_1 i_3 dt = -\frac{I^2}{2}$  соответственно. Силы  $F_{12}$  и  $F_{13}$  направлены под углом  $60^\circ$ , поэтому векторная сумма этих сил  $F$  пропорциональна  $\frac{\sqrt{3}I^2}{2}$ . Таким образом, результирующая сила на дугу с учетом действующего значения линейного тока  $I_{\text{дл}} = I/\sqrt{2}$

$$F_{\text{д}} = \frac{\sqrt{3}\mu_0 I_{\text{дл}}^2}{4\pi l} \left( \sqrt{l^2 + l_0^2} - l - \sqrt{l^2 + l_{30}^2} + \sqrt{l^2 + (l_0 + l_{30})^2} \right). \quad (9)$$

Из рис. 2 видно, что векторы  $\vec{F}_{\text{м}}$  и  $\vec{F}_{\text{д}}$  расположены под прямым углом.

При отклонении формы дуги от прямой линии возникает третья электромагнитная сила взаимодействия тока дуги с собственным магнитным полем, которая старается выпрямить дугу [9]. Пусть форма дуги описывается параболой  $y = \frac{a \cdot x^2}{l_0^2}$  (рис. 4), где  $a$  - отклонение дуги от вертикальной оси.

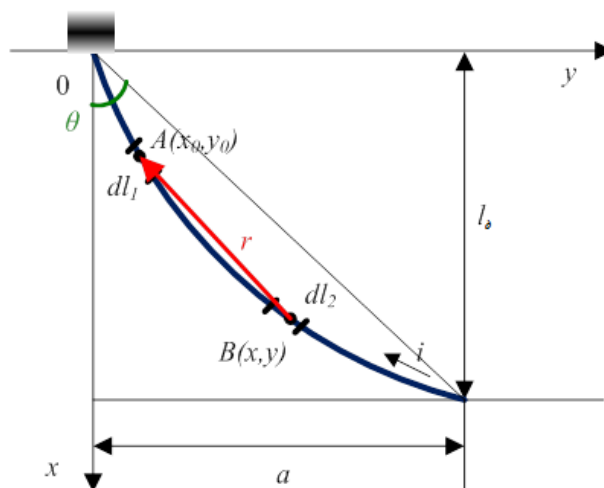


Рис. 4. К расчету силы взаимодействия дуги с собственным магнитным полем

Напряженность магнитного поля в точке  $A$  от тока  $i$ , проходящего через элемент  $dl_2$ , находим по формуле Био-Савара-Лапласа  $dH = \frac{i \cdot dl_2 \times r}{4\pi r^3}$ , где  $\vec{r} = (x_0 - x, y_0 - y)$ ,  $dl_2 = \left(1, \frac{2ax}{l_0^2}\right) dx$ ,

$$|\vec{r}| = r = |\vec{BA}| = \sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y + \bar{y}_0)^2}.$$

Среднее геометрическое расстояние  $\bar{y}_0$  площади сечения дуги в ее цилиндрической части от самой себя  $\bar{y}_0 = 0,778 \cdot r_0$ , где  $r_0$  — радиус дуги в цилиндрической части столба. Распишем векторное произведение

$$dl_2 \times dr = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ dx & \frac{2ax}{l_0^2} dx & 0 \\ x_0 - x & y_0 - y & 0 \end{vmatrix} = \vec{k} \left( y_0 - y - \frac{2ax(x_0 - x)}{l_0^2} \right) dx = \vec{k} \cdot \frac{a}{l_0^2} (x_0 - x)^2 dx.$$

$$dH = \frac{ia(x_0 - x)^2}{4\pi l_0^2 r^3} dx.$$

Полную напряженность магнитного поля в точке  $A$  от тока всей дуги получаем интегрированием

$$H = \frac{ia}{4\pi l_0^2} \int_0^l \frac{(x_0 - x)^2}{\left( (x_0 - x)^2 + \left( \frac{a}{l_0^2} |x_0^2 - x^2| + \bar{y}_0 \right)^2 \right)^{3/2}} dx.$$

Элементарная сила, действующая на элемент тока дуги  $dl_1$ , находится в плоскости  $yOz$ , направлена перпендикулярно  $\vec{dl}_1$ , а ее модуль равен  $dF = i\mu_0 dl_1 \times H$ . Направление элемента дуги  $dl_1$  определяется вектором  $dl_1 = \left(1, \frac{2ax_0}{l_0^2}\right) dx_0$ . Проекция сил, действующих на всю дугу  $i = I_{\text{дл}}$ :

$$F_x = \frac{I_{\text{дл}}^2 a \mu_0}{4\pi l_0^2} \int_0^{l_0} \frac{2ax_0}{l_0^2} \frac{(x_0 - x)^2 dx}{\left((x_0 - x)^2 + \left(\frac{a}{l_0^2} |x_0^2 - x^2| + \bar{y}_0\right)^2\right)^{3/2}} dx_0 \quad (10)$$

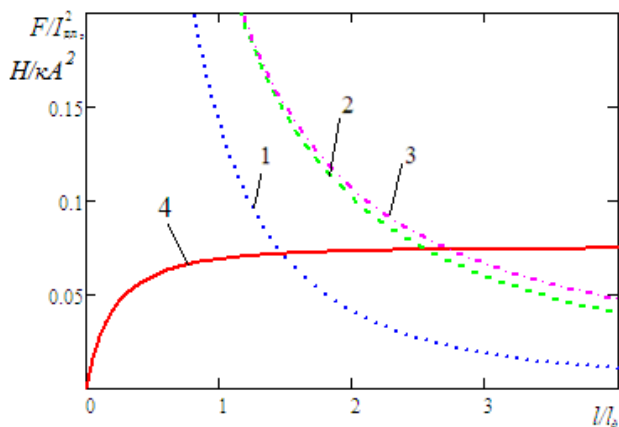
$$F_y = \frac{I_{\text{дл}}^2 a \mu_0}{4\pi l_0^2} \int_0^{l_0} \frac{(x_0 - x)^2 dx}{\left((x_0 - x)^2 + \left(\frac{a}{l_0^2} |x_0^2 - x^2| + \bar{y}_0\right)^2\right)^{3/2}} dx_0 \quad (11)$$

Полная сила, отклоняющая дугу от вертикали  $F_{\text{откл}} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$ .

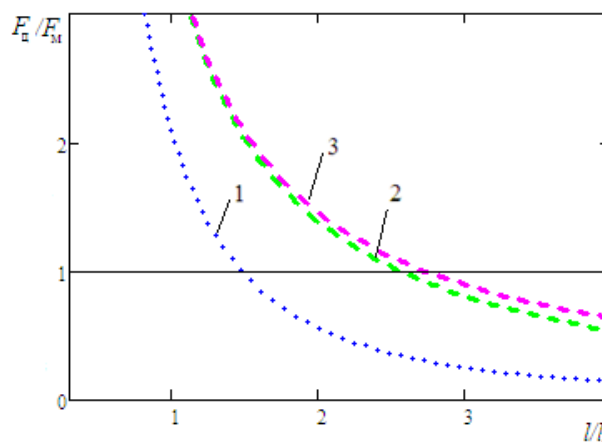
На дугу действует четвертая сила, сжимающая дугу посредством пинч-эффекта. Интегральное значение этой силы можно определить по формуле [7]

$$F_n = \frac{\mu_0 I_{\text{дл}}^2}{4\pi} \quad (12)$$

Все описанные электромагнитные силы пропорциональны квадрату действующего значения тока, поэтому для анализа характера зависимостей сил от длины дуги выберем комплекс  $F/I_{\text{дл}}^2$ . На рис. 5, а показаны графики зависимости  $F_d/I_{\text{дл}}^2$  от безразмерного расстояния между дугами при разных безразмерных длинах электрода. Также на этом рисунке показана зависимость  $F_m/I_{\text{дл}}^2$  от безразмерного расстояния между дугами. На рис. 5, б показаны зависимости соотношения сил  $F_d/F_m$  от безразмерного расстояния между дугами. Видно, что с увеличением расстояния между дугами от 0 до  $l_0$  сила  $F_m$  возрастает до некоторого значения и далее меняется незначительно. Сила  $F_d$  убывает обратно пропорционально с увеличением расстояния между дугами. На расстоянии между дугами менее  $(1,5 - 2,5)l_0$  сила  $F_d$  существенно больше силы  $F_m$ .



а



б

Рис.5. Графики зависимостей сил  $F_d/I_{\text{дл}}^2$  (линии 1-3);  $F_m/I_{\text{дл}}^2$  (линия 4) (а) и соотношения сил  $F_d/F_m$  (б) от безразмерного расстояния между дугами при безразмерной длине электрода: 1 -  $l_{\text{э0}}/l_0 = 0$ ; 2 -  $l_{\text{э0}}/l_0 = 5$ ; 3 -  $l_{\text{э0}}/l_0 = 20$

На рис. 6 представлена зависимость  $F_c/I_{\text{дл}}^2$  от безразмерного отклонения дуги от вертикальной оси. Из него видно, что при увеличении безразмерного отклонения дуги  $a/l_0$  от 0 до 1 сила  $F_c$  сначала возрастает и, достигнув максимума, начинает убывать.

Сила  $\vec{F}_c$  уравнивает сумму сил  $\vec{F}_m$  и  $\vec{F}_d$  и по значению она сопоставима с силами  $\vec{F}_m$  и  $\vec{F}_d$ .

Сила пинч-эффекта, деленная на квадрат тока, имеет довольно большое значение  $0,05 \text{ H/kA}^2$ , однако она не оказывает существенного влияния на положение оси столба дуги.

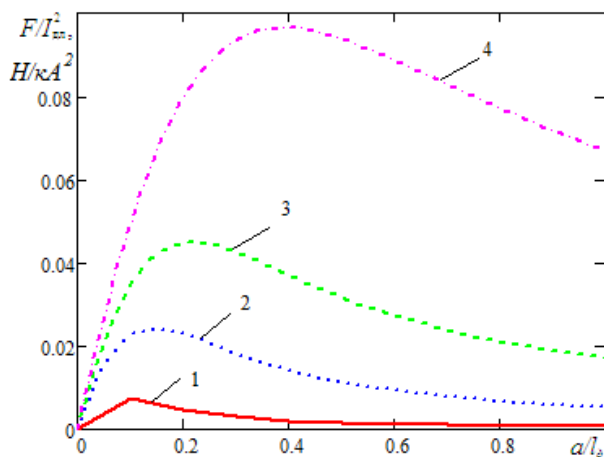


Рис. 6. Зависимость выпрямляющей силы, деленной на квадрат тока, от безразмерного отклонения дуги от вертикальной оси при длине дуги:

1 -  $l_0 = 0,1$  м; 2 -  $l_0 = 0,2$  м; 3 -  $l_0 = 0,3$  м; 4 -  $l_0 = 0,5$  м

Таким образом, получена математическая модель для оценки среднеинтегрального действия основных электромагнитных сил на дугу. Приведены направление и оценка порядка всех сил в зависимости от геометрических параметров положения электродов. Показано, что наиболее существенное влияние на поведение электрической дуги в ванне трехфазной дуговой печи оказывают силы взаимодействия между токами дуг и электродов, силы взаимодействия с токами, протекающими через жидкий металл, и выпрямляющая сила. Установлено, что на расстоянии, сопоставимом с длиной дуги, наибольшее влияние имеет сила взаимодействия между дугами, при расстояниях,

#### Сведения об авторах

**Ячиков Игорь Михайлович** – д-р техн. наук, проф. кафедры вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: (3519) 29-85-63. E-mail: Jachikov@mail.ru

**Вдовин Константин Николаевич** – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: (3519) 29-85-30. E-mail: Vdovin@magtu.ru

**Костылева Елизавета Марковна** – аспирант кафедры вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: ezaretskaya@yandex.ru

превышающих несколько длин дуг, большее влияние на форму дуги оказывает сила взаимодействия с токами, протекающими через жидкий металл.

#### Список литературы

1. Вочке И. Электрическая плавильная печь / пер. с нем. Р.М. Четыркина; под ред. А. Н. Соколова. Л.; М.: ОНТИ. Гл. ред. лит-ры по черной металлургии, 1936. 540 с.
2. Егоров А.В. Электроплавильные печи черной металлургии. М.: Металлургия, 1985. 280 с.
3. Макаров А.Н. Теплообмен в дуговых сталеплавильных печах. Тверь: ТГТУ, 1998. 184 с.
4. Макаров А.Н., Свенчанский А.Д. Оптимальные тепловые режимы дуговых сталеплавильных печей. М.: Энергоатомиздат, 1992. 96 с.
5. Миронов Ю.М. Электрическая дуга в электротехнологических установках: монография. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2013. 238 с.
6. Никольский Л.Е., Смоляренко В.Д., Кузнецов Л.Н. Тепловая работа дуговых сталеплавильных печей. М.: Металлургия, 1981. 320 с.
7. Общая электротехника / под. ред. В.С. Пантюшина. М.: Высш. шк., 1970. 568 с.
8. Ячиков И.М., Зарецкая Е.М. Анализ поведения магнитного поля вблизи электродов дуговых печей посредством математического моделирования // Изв. вузов. Черная металлургия. 2011. № 1. С. 18–21.
9. Ячиков И.М., Костылева Е.М. Математическое моделирование формы дуг при их электромагнитном взаимодействии. Сообщение 1. Форма двух дуг постоянного тока, горящих между катодами и токопроводящей поверхностью // Изв. вузов. Черная металлургия. 2014. № 1. С. 59–64.
10. Ячиков И.М., Костылева Е.М. Взаимодействие дуг: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. № 2013619388. БПБТ. 2013. №4. С. 324.

#### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

#### THE ANALYSIS OF THE MAIN ELECTROMAGNETIC FORCES ACTING ON THE THREE -PHASE ARC FURANCE

**Yachikov Igor** – D. Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: [Jachikov@mail.ru](mailto:Jachikov@mail.ru)

**Vdovin Konstantin** – D. Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: [Vdovin@magtu.ru](mailto:Vdovin@magtu.ru)

**Kostyleva Elizaveta Markovna** – Graduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: ezaretskaya@yandex.ru

**Abstract.** A mathematical model for estimation of mean-main integral action of electromagnetic forces acting at the arc was considered. It is shown that the most significant effect on the behavior of the electric arc and its shape in the bath of three-phase arc

*furnace have the forces of interaction between currents and arc electrodes, forces of interaction with currents flowing through the liquid metal and straightening force.*

**Keywords:** *three-phase arc furnace, electric arc, electric arc column, the electromagnetic force, straightening force, the effect pinch.*

#### References

1. Vochke logan. Electric melting furnace. Translated from the German R.M. Chetyrkina; Ed. A.N. Sokolova. Leningrad ; Moskva : Onti. Glav. red. lit-ry po chernoy metallurgii, 1936, 540 p.
2. Egorov A.V.. Electric smelting furnace steel industry. Moscow: Metallurgia, 1985. 280 p.
3. Makarov A.N. Heat transfer in electric arc furnaces. Tver: TGTU, 1998. 184 p.
4. Makarov A.N., Svenchanskiy A.D., Optimal thermal conditions EAF. Moscow: Energoatomizdat, 1992. 96 p.
5. Mironov U.M. The electric arc in electrotechnological installations: Monografia, Cheborsary: Izd. Chuvash.un-ta, 2013, 238 p.
6. Nikolskiy L.E., Smolyarenko V.D., Kuznetsov L N, Thermal performance EAF. Moscow: Metallurgia, 1981, 320 p.
7. Electrical engineering in general. Ed. V.S. Pantyushina. Moscow, Vysh. shkola, 1970, 568 p.
8. Yachikov I.M., Zaretskaya E.M. Analysis of the behavior of the magnetic field near the electrodes of arc furnaces by means of the mathematical modeling Izvestia VUZOV. Chernaya metallurgia. [Steel in Translation]. 2011, № 1, pp. 18–21.
9. Yachikov I.M. Kostyleva E.M. A mathematical modeling of the shape of arcs with their electromagnetic interactions. Communication 1. Forms two arcs DC, burning between the cathode and the conductive surface. Izvestia VUZOV. Chernaya metallurgia, 2014, 1, pp. 59-64.
10. Yachikov I.M., Kostyleva E.M., The interaction arcs. Svidetelstvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EVM 2013619388. BPBT. 2013, 4, p. 324.



# ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.74..045

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

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА СТОЙКОСТЬ ИЗЛОЖНИЦ ИЗ ВАГРАНОЧНОГО ЧУГУНА

**Аннотация.** Стойкость изложниц из ваграночного чугуна слабо зависит от порядка заливки изложницы в течение смены, несколько снижается от дня изготовления в течение рабочей недели, заметно зависит от длительности старения и интенсивности эксплуатации изложницы.

**Ключевые слова:** стойкость изложниц, длительность охлаждения формы, длительность старения и эксплуатации.

На металлургическом заводе «Красный Октябрь» (г. Волгоград) важной проблемой для эффективности производства является повышение стойкости изложниц.

Изложницы изготавливают в собственном литейном цехе завода из ваграночного чугуна. Для анализа влияния параметров технологии изготовления изложниц и условий их эксплуатации с декабря 2012 по май 2013 года был собран статистический материал.

На заводе применяют изложницы трех типов: 6,36, 6,12 и 5,62 т. Изложницы 6,36 т используют для разлива стали как в ЭСПЦ-1, так и в ЭСПЦ-2. Изложницы 6,12 и 5,62 т производятся в небольшом количестве – 3, 4 и 11% от общего их числа соответственно.

Наиболее конструктивно отработанной является изложница 6,36, имеющая стойкость 50 наливов, по сравнению с изложницами 6,12 и 5,62 т, которые имеют примерно одинаковую стойкость – чуть более 42 наливов.

Распределение изложниц по цехам и их стойкость приведены в табл. 1.

Таблица 1  
Распределение изложниц по цехам и их стойкость без ремонтов и с ремонтами

Цех	Число изложниц		Стойкость, наливов		
	без ремонта	с ремонтом	без ремонта	после ремонта	общая
ЭСПЦ-1	27	13	50,50	10,70	52,7
ЭСПЦ-2	197	52	47,24	7,02	49,12

Из табл. 1 видно, что основная доля изложниц (88%) эксплуатируется в ЭСПЦ-2. Стойкость изложниц в ЭСПЦ-1 несколько выше. До ремонта она составляет 50,5 налива, что на 3,26 налива больше, чем в ЭСПЦ-2. Доля изложниц с ремонтами в ЭСПЦ-2 ниже и составляет 20,4%, а в ЭСПЦ-1 она доходит до 32,5%.

Влияние химического состава чугуна, его углеродного эквивалента и эвтектичности было опубликовано ранее [1], где показано, что стойкость изложниц из ваграночного чугуна лишь на 13,5% определяется химическим составом последнего. При этом отмечено,

что повышение содержания хрома заметно снижает стойкость изложниц.

Очевидно, основное влияние на стойкость изложниц оказывают технология изготовления и условия эксплуатации изложниц. К ним можно отнести такие факторы, как порядковый номер заливки изложницы в цехе, время выдержки изложницы в форме до выбивки, время старения изложницы, дни до первого налива начала эксплуатации и длительность эксплуатации (темп наливов).

Отливку изложниц производят в песчано-глинистые просушенные формы в двух опоках.

Заливку осуществляют с помощью поворотного ковша. Время заливки стабильное – 1,5–2 мин. Верхняя опока снимается через 45 мин после наполнения формы, затем поверхность металла засыпают сухой формовочной смесью. Через 1,5 ч форму снимают с трубы и ставят на песчаную основу для охлаждения. Время охлаждения не менее 16 ч.

Было оценено влияние порядкового номера заливки изложницы в течение рабочей смены на их стойкость. Показано, что стойкость изложниц первых заливок в начале работы вагранки не отличается от стойкости изложниц, залитых в дальнейшем по ходу рабочей смены (рис. 1). Это говорит о том, что параметры жидкого металла в течение дня остаются стабильными.

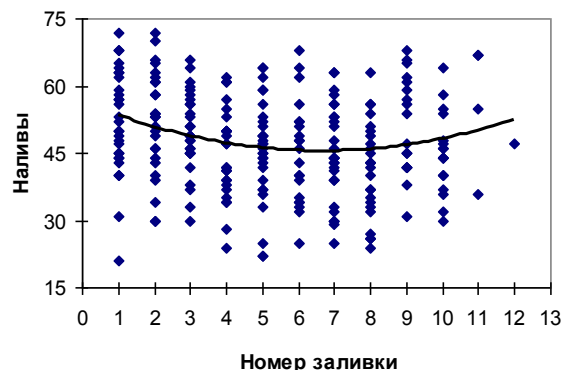
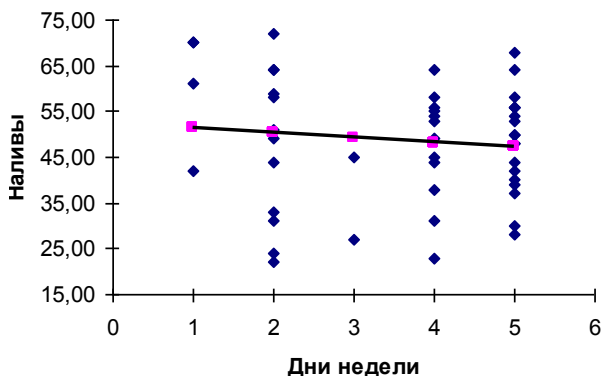
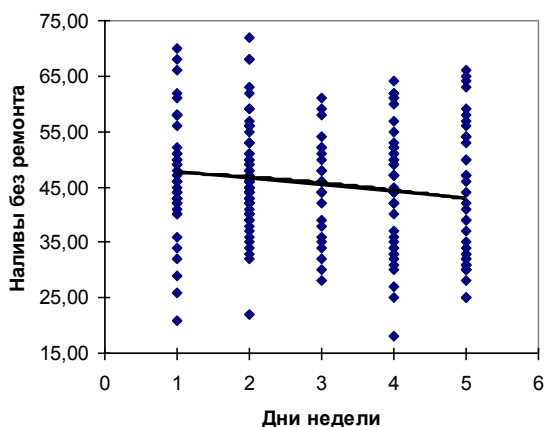


Рис. 1. Связь стойкости изложниц от порядкового номера заливки

Проанализировали влияние рабочего дня недели изготовления изложницы на их стойкость при эксплуатации в ЭСПЦ-1 (рис. 2, а) и ЭСПЦ-2 (рис. 2, б). Как видно из рис. 2, отмечается слабая тенденция к снижению стойкости у изложниц, отлитых в последующие рабочие дни после первого. В то же время изложницы, отлитые в среду (3 день заливки), стояли несколько хуже, чем обычно.



а



б

Рис.2. Изменение стойкости изложниц в ЭСПЦ-1 (а) и ЭСПЦ-2 (б) от дня их изготовления

Не отмечено существенного влияния длительности охлаждения изложницы в форме до выбивки на их стойкость при эксплуатации (рис. 3). Однако при этом следует отметить, что длительная выдержка изложницы в форме приводит к незначительному снижению ее стойкости, хотя стойкость изложниц становится более стабильной и не опускается ниже 35 наливов. Некоторое снижение стойкости объясняется затрудненной выбивкой отливки из формы после длительного пребывания ее в форме и увеличением напряжений в отливке в процессе выбивки.

Сравнение стойкости изложниц, изготовленных в различные месяцы, показывает, что время охлаждения изложниц не влияет на стойкость (табл. 2).

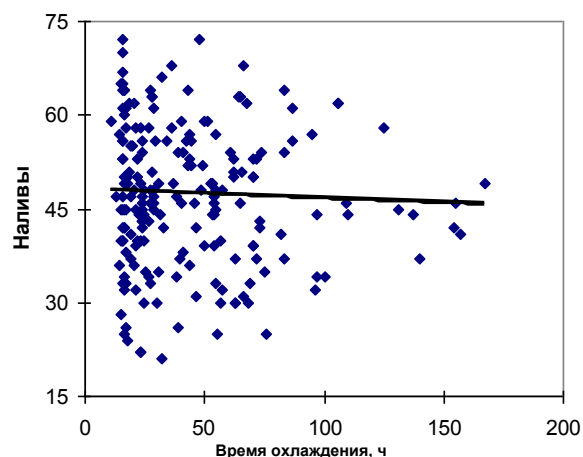


Рис. 3. Влияние длительности охлаждения изложницы в форме на ее стойкость

Таблица 2

Стойкость изложниц, изготовленных по месяцам

Месяц	Число изп.	Наливы без ремонта	Наливы с ремонтом	Время охлаждения формы, ч	Время эксплуатации изложницы, день
Январь	40	47,75	47,6	33,8	54
Февраль	58	49,12	52,4	34,	91
Март	50	47	47,96	36,2	н.св
Апрель	26	46,72	48,3	62,8	н.св

Стойкость изложниц по месяцам изготовления отличается незначительно. Лучшую стойкость имеют показатели февральских изложниц, что, видимо, связано с более низким темпом их эксплуатации (91 день). Эти изложницы лучше ремонтировались, что повысило их стойкость. Можно отметить, что увеличение времени охлаждения форм в апреле почти в два раза не отразилось на стойкости изложниц.

Известно, что длительность выдержки изложницы на складе до первого налива приводит к релаксации напряжений, способствуя повышению стойкости изложниц. На заводе нет условий для длительной выдержки изложниц на складе. Поэтому они начинают эксплуатироваться уже через 3 сут выдержки на складе, а максимальная выдержка не превышает 18 сут. На рис. 4 показано изменение стойкости изложниц от времени ввода их в эксплуатацию. При вводе изложниц в эксплуатацию в период до 12 сут отмечается снижение их стойкости, а при увеличении выдержки свыше 15 сут отмечается тенденция к увеличению стойкости изложниц (см. рис. 4).

Опыты по длительному старению изложниц с выдержкой их на складе до заливки в течение трех и более месяцев, проведенные на заводе, показывают эффективность этого мероприятия.

Важным условием, влияющим на стойкость изложниц, является интенсивность их эксплуатации, характеризующаяся временем нахождения изложни-

цы в работе. Косвенно это указывает на количество наливов за определенный отрезок времени. Измене-

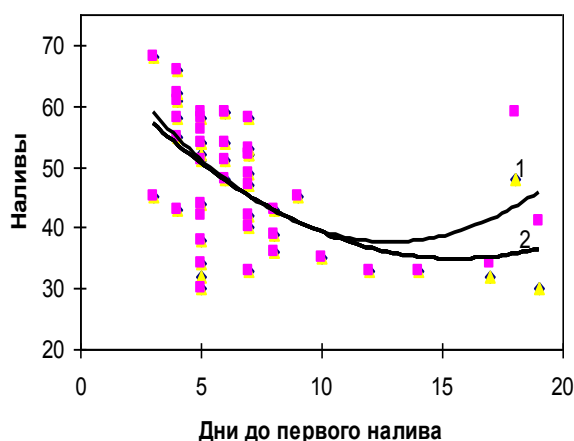


Рис. 4. Влияние выдержки до первого налива на стойкость изложниц:  
1 – стойкость с ремонтами; 2 – стойкость без ремонтов

ние стойкости изложниц без ремонта в зависимости от длительности эксплуатации приведено на рис. 5.

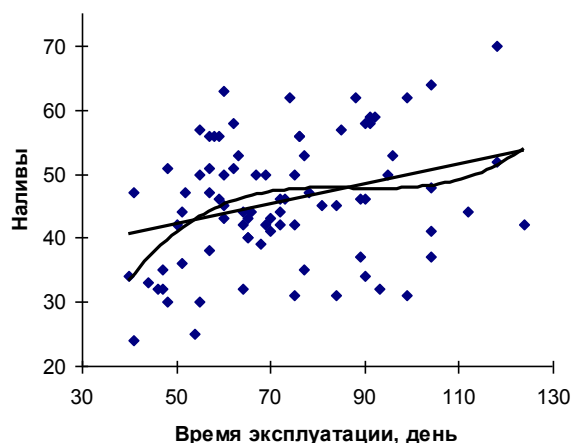


Рис. 5. Изменение стойкости изложниц без ремонта в зависимости от длительности эксплуатации

Из рис. 5 видно, что интенсивная заливка изложниц, более одной заливки в сутки, приводит к снижению стойкости изложниц, что описывается линейным уравнением

$$Ст_{бр} = 0,1564 Д_{экс} + 34,28 \quad R^2 = 0,0964$$

При описании этих данных биномом третьей степени

$$Ст = 0,001 Д^3_{экс} - 0,0364 Д^2_{экс} + 3,176 Д_{экс} - 44,23 \quad R^2 = 0,146$$

видно, что интенсивность эксплуатации один налив в полутора и более суток оказывает слабое влияние на стойкость изложниц. Интенсивная эксплуатация изложниц, когда осуществляется более одного налива в течение суток, заметно снижает их стойкость.

Намечается слабый рост стойкости, если изложница заливается один раз за двое суток и более.

Таким образом, проведенное ранее статистическое исследование\* показало, что стойкость изложниц из ваграночного чугуна лишь на 13,5% определяется химическим составом последнего. Только повышение содержания хрома в чугуне заметно снижает стойкость изложниц.

\* Миляев А.Ф., Никитин Ю.П., Кадников С.В., Тимофеев В.А., Матвеев А.Н. Влияние химического состава ваграночного чугуна на стойкость изложниц // Теория и технология металлургического производства. 2014. №1(14). С. 56-58.

Можно ожидать повышение стойкости изложниц при проведении модифицирования чугуна. В условиях завода проведение этого мероприятия затруднительно из-за низкой температуры ваграночного чугуна.

Слабо зависит стойкость изложниц от порядка заливки их в течение смены. Заметно влияние выдержки изложниц на складе до первого налива. Начало эксплуатации изложницы через 6 дней после изготовления не ведет к снижению стойкости, а в дальнейшем отмечается ее снижение. При увеличении длительности старения изложниц перед эксплуатацией свыше 12 суток можно ожидать значительное увеличение стойкости.

Увеличение стойкости изложниц может быть достигнуто при одном наливе в течение 2 и более суток, что связано с увеличением парка изложниц, находящихся в эксплуатации.

### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

#### INFLUENCE PARAMETERS OF EXPLOITATIONS INGOT MOULDS FROM CUPOLA IRON ON LIFE TIME INGOT MOULDS

Miljaev Aleksandr Fedorovich – Ph. D. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University.  
Nikitin Yuri Petrovich – New Technologies – EC Ltd. E-mail: mail@novtexn.ru

**Kadnikov Sergey Vladimirovich** – New Technologies – EC Ltd. E-mail: mail@novtexn.ru

**Timofeev Vladimir Andreevich** – chief steelmaking department metallurgical plant «Red Oktober», Volgograd.

**Matveev Anatoliy Nikolaevich** – engineer steelmaking department metallurgical plant «Red Oktober», Volgograd.

*Abstract.* lifetime of ingot moulds feebly depend from number cast ingot mould during work time, day of production. but depend long time ageing and intensive exploitations of ingots moulds

*Keywords:* lifetime of ingot, cooling time of mould, long time ageing and exploitations



УДК 669.621.1.74

Леушин И.О., Коровин В.А., Ульянов В.А., Токарникова О.В., Шигин В.Е.

## ВЛИЯНИЕ ВНЕПЕЧНЫХ МЕТОДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МЕДНЫЕ СПЛАВЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ КАЧЕСТВА

**Аннотация.** В настоящее время в промышленности были и остаются необходимыми и востребованными детали из медных сплавов. При этом качество литых заготовок – механические свойства и их структуры, во многом определяются чистотой и условиями кристаллизации сплава. Поиск решения проблемы получения качественной литой заготовки привел исследователей к необходимости применения различных внешних воздействий на жидкий и затвердевающий металл. В работе в качестве внешних методов обработки медных сплавов были исследованы:

1 направление – воздействие упругих колебаний на расплав в ковше;

2 направление – воздействие вибрации на затвердевающий в металлической форме сплав;

3 направление – воздействие рафинирующе-модифицирующей смеси на расплав в ковше.

По первому направлению в статье приведены результаты промышленных исследований обработки бронз упругими колебаниями в ковше в течение одной и трех минут и выявлено благоприятное влияние на структурные изменения.

По второму направлению в статье приведены исследования по приложению вибрации к кокилям с расплавом бронзы и выявлено измельчение структуры и повышение механических свойств.

По третьему направлению в статье приведены исследования термодинамики карбонатов бария, стронция и кальция, а также результаты промышленных исследований обработки расплава латуни в ковше рафинирующе-модифицирующей смесью на основе карбонатов. Результаты проведенных исследований показывают возможность и эффективность рафинирования и модифицирования расплава латуни смесью карбонатов бария и стронция, что сопровождается повышением механических свойств и улучшением микроструктуры заготовок.

Таким образом, предложены различные варианты технологических решений по повышению качества медных сплавов и получены при этом опытные партии заготовок.

**Ключевые слова:** медные сплавы, расплав, внепечная обработка, структура, механические свойства, упругие колебания, вибрация, рафинирование, модифицирование, качество заготовок.

В настоящее время в промышленности были и остаются перспективными и востребованными детали из сплавов медной группы. Они являются основой большинства современных литейных сплавов для заготовок тел вращения, что связано с исключительно благоприятным сочетанием их литейных, механических и эксплуатационных свойств. При этом структура и свойства литого металла заготовок во многом определяются его чистотой и условиями его кристаллизации. Поэтому поиск решения проблемы – получение качественной литой заготовки – ведет исследователей к необходимости применения различных внешних воздействий на жидкий и затвердевающий металл [1–5].

В работе в качестве внепечных методов обработки медных сплавов были использованы для исследо-

ваний: воздействие упругих колебаний на расплав в ковше, воздействие вибрации на затвердевающий металл в форме и воздействие рафинирующе-модифицирующей смеси на расплав в ковше.

Первый вариант внепечной обработки расплав медных сплавов – воздействие упругих колебаний на жидкий металл.

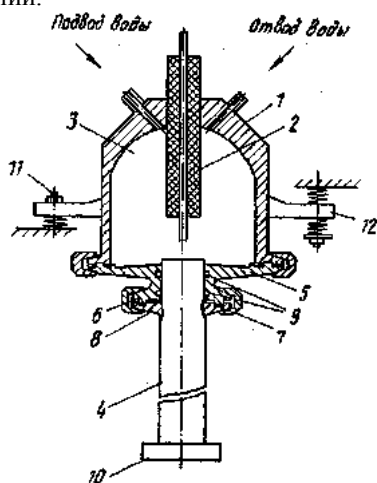
В качестве исследуемых сплавов использовались деформируемые бронзы БрМц5 и БрКМц3-1, выплавляемые в канальной индукционной печи под слоем флюса (составляет 2–3% от массы шихты) по стандартной методике из свежих металлов. После расплавления меди и нагрева до температуры 1150–1170°C расплав раскисляют фосфористой медью, после раскисления расплава в него вводят подогретые до 100–120°C соответствующие элементы и переме-



шивают до полного растворения элемента и нагревают до заданной температуры. При выдаче сплава из печи в ковш перед разливкой расплав окончательно раскисляют остатком фосфористой меди для освобождения ее от окислов.

Разливочный ковш с жидким металлом ёмкостью 1 т помещают под устройство генерации упругих колебаний, которые вводятся в расплав с помощью погруженного стального волновода, затем с поверхности расплава удаляют образовавшийся шлак и разливают по формам. Для лучшего удаления шлака с поверхности расплава в ковш добавляют кварцевый песок, который сгущает шлак.

На рисунке показано устройство генерации упругих колебаний, которое использовалось в ходе исследований.



Устройство генерации упругих колебаний:

- 1 – корпус электроразрядной камеры; 2 – электрод;
- 3 – вода; 4 – излучатель-волновод; 5 – мембрана;
- 6, 8 – кольца; 7 – полухомуты; 9 – уплотнения;
- 10 – профильная насадка; 11 – обычная подвеска;
- 12 – резонансная подвеска

После заполнения разрядной камеры водой подают от генератора импульсных токов на положительный электрод импульсы тока высокого напряжения 50 кВ с заданной частотой следования 5 имп/с. При высоковольтном пробое водного промежутка между оконечностью положительного электрода и верхней частью излучателя-волновода, являющегося отрицательным электродом, возникают явления, характеризующие электрогидравлический эффект в ограниченном объеме. Ударные волны и мощные гидротоки взаимодействуют с мембраной и верхним торцом волновода-излучателя и через последний передаются в расплавленный металл. Акустическое поле в расплаве приводит к возникновению локальных акустических давлений за счет распространения импульса сжатия. Взаимодействие фронта ударной волны с различными неоднородностями расплава приводит к возникновению локальных разры-

вов сплошности, возникновению кавитационных полостей, способствующих дегазации расплава и всплыванию неметаллических включений.

Основные параметры воздействия при энергии в импульсе 1 кДж:

- нарастание в течение 1 мс скорости перемещения мембраны до 6 м/с при ускорениях до 1300 g;
- основные гармоники акустических волн в пределах 0,8–3,4 кГц.

Ниже приведены результаты промышленных исследований обработки бронз упругими колебаниями в разливочном ковше в течение 1 и 3 мин.

В табл. 1 показаны средние значения размеров литого зерна и дендритной ячейки, а также механических свойств литой заготовки диаметром 100 мм.

Виброимпульсное воздействие благоприятно влияет на структурные изменения литого сплава. В связи с этим изменение расстояния между дендритными осями становится важной характеристикой структуры и качества литья. При этом наблюдается выравнивание механических свойств медного сплава по сечению заготовки.

Второй вариант внепечной обработки расплава медных сплавов – воздействие вибрации на затвердевающий металл в форме.

Проведен цикл экспериментов на участке получения бронзового литья. При проведении этих экспериментов использовали приложение вибрации на кокили, предназначенные для получения заготовок из бронзы.

Было установлено, что при прочих равных условиях количество удаляемых газов при вибрации (в зависимости от параметров вибрации и технологических условий) увеличивается на 10–20%, измельчается макро-, микроструктура и зерно и повышаются механические свойства на 15–20%.

Объяснение, например, факта улучшения удаления газов может быть следующим. При зарождении в

Таблица 1

Влияние упругих колебаний на параметры литой заготовки из БрМц5

Время воздействия, мин	Площадь литого зерна, мм	Размер дендритной ячейки, мкм	Ширина зоны столбчатых кристаллов, мм	Предел прочности, МПа	Относительное удлинение, %	Твёрдость по Виккерсу, HV
0	6,7	22,7	31	290	24	37
1	2,1	13,1	14	370	35	44
3	0,9	6,9	8	395	34	49

гомогенной жидкости газовых пузырьков вследствие малого радиуса ( $\sim 10^{-6}$  м) они испытывают значительные знакопеременные давления, состоящие из атмосферного  $P_{атм}$ , ферростатического  $P_{ф}$  и капиллярного [2]:

$$P_{общ} = P_{ф} + \frac{\sigma}{r},$$

где  $\sigma$  – межфазное натяжение расплава;  $r$  – радиус пузырька.

Если это давление больше некоторого значения  $P_{пр}$ , при котором пузырек может достигнуть критического размера, зарождение газовых пузырьков, способных к выходу из металла, не происходит. Возникающие при воздействии вибрации импульсы давлений «раскачивают» внутреннюю структуру расплава и ослабевают прочность жидкости. В определенной фазе виброимпульса происходит сокращение расстояния между мелкими пузырьками настолько, что приводит к образованию полостей, заполняемых растворенным в расплаве газом, которые способны удалиться из расплава.

В настоящее время не существует однозначного мнения о влиянии вибрации на процесс кристаллизации и зародышеобразования. Общеизвестно, что вибрационная обработка расплава приводит к интенсивному зарождению новых кристаллов. При этом предполагаются два механизма зарождения кристаллов под действием вибрации.

В первом – при соответствующих параметрах вибрации образуются зародыши, по размерам соизмеримые с размерами критического зародыша, т.е. идет процесс спонтанного зародышеобразования. При этом есть две причины этого процесса. Первая – изменение давления внутри металла. Вторая – вибрационное смещение зародышей при «раскачивании» внутренней структуры расплава, облегчающее их образование и дальнейший рост.

Во втором – при создании определенных параметров вибрации кокиля создаются условия для возникновения обломков кристаллов, и причем процесс может усиливаться при возникновении резонансных колебаний. Обломки кристаллов захватываются конвективными потоками расплава, возникающими вследствие движения струи жидкого металла из ковша в кокиль, и разносятся по объему формы.

Результаты экспериментальных исследований позволяют сделать вывод, что под действием вибрации происходит диспергирование элементов структуры расплава и размывание от шихтовых материалов. Влияние данного вида обработки сохраняется в течение длительного времени и проявляется в измельчении структурных составляющих и повышении механических свойств в литых заготовках.

Третий вариант внепечной обработки расплава медных сплавов – воздействие рафинирующе-модифицирующей смеси на расплав в ковше.

Метод совместного проведения модифицирования и рафинирования можно успешно применять для очистки и повышения физико-механических свойств расплавов меди, бронз и латуней.

Учитывая склонность этого сплава к поглощению газов, плавку необходимо вести форсированно, сохраняя нейтральную или слегка окислительную атмосферу.

В работе исследовали влияние обработки расплава латуни в ковше карбонатами на кинетику и эффективность модифицирования и рафинирования при

изменении ковшевой атмосферы в сторону окислительной, отразившейся на микроструктуре и физико-механических свойствах.

Объектом исследования являлась латунь Л59. Ее плавляли в индукционной печи из готовой шихтовой заготовки. По расплавлению шихты и подогрева до заданной температуры расплав выдавали в ковш, где и обрабатывали карбонатами. Емкость ковша-5 кг. Количество модифицирующе-рафинирующей смеси (карбоната) – 0,025 кг. Температура заливки – 850°C. Использованные карбонаты: бария ( $BaCO_3$ ), стронция ( $SrCO_3$ ), кальция ( $CaCO_3$ ). Полученные результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты эксперимента по обработке расплава латуни карбонатами

№ п/п	Карбонат	Количество, %	Предел прочности, кг/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение, %
1	Без обработки	Без обработки	43,95	13,3
2	$BaCO_3$	0,5	52,23	10,3
3	$SrCO_3$	0,5	45,22	22,67
4	$CaCO_3$	0,5	42,68	17,3

Как следует из данных табл. 2, процесс модифицирующе-рафинирующего воздействия на расплав латуни протекает эффективно при применении карбоната бария и карбоната стронция.

В процессе ковшевой обработки сплава выделяющиеся пузырьки углекислого газа при разложении карбонатов механически увлекают за собой растворенные газы и удаляют их из жидкого сплава. Барий и стронций оказывают модифицирующий эффект. Карбонат кальция ( $CaCO_3$ ) не успевает раствориться в расплаве латуни.

Результаты лабораторных экспериментов показывают возможность рафинирования и модифицирования расплава латуни карбонатами бария и стронция с повышением при этом физико-механических свойств и улучшением микроструктуры.

#### Список литературы

1. Тихонов Б.С. Тяжелые цветные металлы и сплавы. Справочник: в 2 ч. М.: ЦНИИЭИцветмет, 1999. Ч. 1. 386 с.
2. Осинцев О.Е., Федоров В.Н. Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубежные марк. Справочник. М.: Машиностроение, 2004. 336 с.
3. Ефимов В.А., Эльдарханов А.С. Технологии современной металлургии. М.: Новые технологии, 2004. 782 с.: ил.
4. Сковрцов А.А., Акименко А.Д., Ульянов В.А. Влияние внешних воздействий на процессы формирования слитков и заготовок. М.: Металлургия, 1991. 160 с.
5. О перспективах применения вибрации в процессах внепечной обработки бронзы / В.А. Ульянов, О.В. Токарникова, И.В. Гейко, В.А. Коровин, Д.А. Фатеев, А.И. Щербаков // Литейное производство сегодня и завтра: труды IX Всероссийской научной практической конференции. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. С. 316-318.

**Сведения об авторах**

**Леушин Игорь Олегович** – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой металлургических технологий и оборудования НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Тел.: 8(831) 436-43-95.

**Коровин Валерий Александрович** – д-р техн. наук, доц. кафедры металлургических технологий и оборудования НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Тел.: 8(831) 436-43-95. E-mail: v.korovin2015@yandex.ru

**Ульянов Владимир Андреевич** – д-р техн. наук, проф. кафедры металлургических технологий и оборудования НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Тел.: 8(831) 436-43-95.

**Токарникова Ольга Валерьевна** – аспирант, инженер II категории кафедры металлургических технологий и оборудования НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Тел.: 8(831) 436-43-95.

**Шигин Вячеслав Евгеньевич** – ст. преп. каф. металлургических технологий и оборудования НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Тел.: 8(831) 436-43-95.

**INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH**

**INFLUENCE OF EXTRA OVEN METHODS OF INFLUENCE ON THE COPPER ALLOYS FOR INCREASE OF THEIR QUALITY**

**Leushin Igor Olegovich** – D. Sc. (Eng.), the Head of the chair "Metallurgical technologies and the equipment" NGTU of R. E. Alekseev. Phone: 8 (831) 436-43-95.

**Korovin Valery Aleksandrovich** – D. Sc. (Eng.), Associate Professor NGTU of R. E. Alekseev. Phone: 8 (831) 436-43-95, v.korovin2015@yandex.ru

**Ulyanov Vladimir Andreevich** – D. Sc. (Eng.), Professor NGTU of R. E. Alekseev. Phone: 8 (831) 436-43-95.

**Tokarnikova Olga Valeryevna** – graduate student, the engineer of the II category of "Metallurgical technologies and equipment" chair of NGTU of R. E. Alekseev. Phone: 8 (831) 436-43-95.

**Shigin Vyacheslav Evgenyevich** – Assistant Professor NGTU of R.E. Alekseev. Phone: 8 (831) 436-43-95.

***Abstract.** Now in the industry were and there are necessary and demanded details from copper alloys. Thus quality of cast preparations – mechanical properties and their structures, in many respects are defined by purity and conditions of crystallization of an alloy. Search of a solution of the problem of receiving high-quality cast preparation resulted researchers in need of application of various external impacts on liquid and hardening metal. In work as external methods of processing of copper alloys were investigated:*

*1 direction – impact of elastic fluctuations on fusion in a ladle;*

*2 direction – impact of vibration on an alloy hardening in a metal form;*

*3 direction – impact of refining-modifying mix on fusion in a ladle.*

*In the first direction in article results of industrial researches of bronze processing by elastic fluctuations are given in a ladle within one and three minutes and beneficial effect on structural changes is revealed.*

*In the second direction in article researches on the appendix of vibration are given to chill molds with bronze fusion, and crushing of structure and increase of mechanical properties is revealed.*

*In the third direction in article researches of thermodynamics of carbonates of barium, strontium and calcium, and also results of industrial researches of processing of fusion of brass are given in a ladle by refining-modifying mix on the basis of carbonates. Results of the conducted researches show opportunity and efficiency of refinement and modifying of fusions of brass by mix of carbonates of barium and strontium that is accompanied by increase of mechanical properties and improvement of a microstructure of preparations.*

*Thus: various versions of technological decisions on improvement of quality of copper alloys are offered, and experience batches of preparations are received thus.*

**Keywords:** *copper alloys, fusion, extra oven processing, structure, mechanical properties, elastic fluctuations, vibration, refinement, modifying, quality of preparations.*

**References**

1. Tikhonov B.S. *Tyazhelye tsvetnye metally i splavy* [Heavy non-ferrous metals and alloys]. Moscow: TSNIIEltsvetmet, 1999, pt.1, 386 p.
2. Osintsev O.E., Fedorov V.N. *Med' i mednye splavy. Otechestvennyye i zarubezhnyye marki* [Copper and copper alloys. Domestic and foreign brands]. Moscow: Mashinostroenie, 2004, 336 p.
3. Yefimov V.A., Eldarkhanov A.S. *Tekhnologii sovremennoj metallurgii* [Technologies of modern metallurgy]. Moscow: New technologies, 2004, 782 p.
4. Skvortsov A.A., Akimenko A.D., Ulyanov V.A. *Vliyaniye vneshnikh vozdeystviy na protsessy formirovaniya slitkov i zagotovok* [Influence of external influences on processes of formation of ingots and preparations]. Moscow: Metallurgy, 1991, 160 p.
5. Ulyanov V.A., Tokarnikova O.V., Geiko I.V., Korovin V.A., Fateev D.A., Scherbakov A.I. *About prospects of application of vibration in processes of extra oven processing of bronze* [Foundry production today and tomorrow: works IX of the All-Russian scientific and practical conference]. S.-Peterburg: Publishing house of Polytechnical University, 2012, pp. 316-318.



УДК 621.746.019

Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А.

## АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ГОРЯЧИХ ТРЕЩИН НА СТАЛЬНЫХ ОТЛИВКАХ

**Аннотация.** Рассмотрена методика оценки вероятности образования горячих трещин на стальных отливках при помощи предложенного показателя трещиностойчивости. Проведена оценка вероятности образования горячих трещин на крупных стальных отливках, при условии заливки через разные варианты литниковых систем и при установке ребёр жёсткости на отливку.

**Ключевые слова:** крупная стальная отливка, тепловые поля, напряжения, кристаллизация, показатель трещиностойчивости.

Наиболее распространённой проблемой, с которой сталкиваются специалисты литейных цехов при производстве крупных стальных отливок и которая снижает качество литых заготовок, являются горячие трещины.

Горячие трещины образуются в температурном интервале хрупкости, в котором сплав обладает минимальной пластичностью. Обычно механизм образования горячих трещин представляют следующим образом: при температурах отливки ниже температуры нулевой жидкотекучести образуется кристаллический скелет, сплав начинает давать усадку, теряя способность течь как жидкость и приобретая некоторую прочность. Возникающие при этом напряжения достигают предела прочности сплава при растяжении, вследствие чего происходит образование трещин в отливке [1].

Среди основных факторов, влияющих на образование напряжений в теле отливки, можно выделить следующие:

- податливость формы;
- температура заливки сплава;
- распределение тепловых полей в теле отливки.

На первые два фактора можно оказывать влияние путём технологических мероприятий, а именно: введением добавок в формовочную смесь для улучшения податливости, изготовление полых стержней, болванов; контроль температуры металла в ковше перед заливкой в форму.

На распределение тепловых полей в отливке оказывать влияние гораздо сложнее, но тем не менее возможно путём изготовления различных частей формы с разной теплоаккумулирующей способностью, увеличением интенсивности охлаждения за счёт установки холодильников, а также использованием различных конструкций литниковых систем.

Ещё одним технологическим мероприятием, позволяющим предотвратить образование горячих трещин на крупных отливках, является установка ребёр жесткости. Эти ребра затвердевают быстрее, чем основная масса металла, тем самым компенсируют возникающие напряжения.

Для оценки склонности отливки к краснотекучести, а также эффективности технологических мероприятий, направленных на предотвращение процесса трещинообразования, предложили применять показатель трещиностойчивости, который в математической форме имеет вид

$$n_T = \frac{\sigma_B^{min}}{\varepsilon}, \quad (1)$$

где  $n_T$  – показатель трещиностойчивости, МПа;

$\sigma_B^{min}$  – минимальный предел прочности при определённой температуре, МПа;

$\varepsilon$  – относительная суммарная деформация отливки.

Деформация отливки, вызванная усадочными процессами, в различных частях отливки будет идти неодинаково, в зависимости от температуры конкретного участка отливки. Суммарную деформацию отливки можно найти путём сложения величин деформаций отдельных участков с постоянной температурой в пределах рассматриваемого участка.

Для того чтобы найти относительную суммарную деформацию стенки отливки в момент времени  $\tau$ , соответствующий определённой средней температуре отливки, необходимо проинтегрировать произведение градиента температуры на коэффициент термического расширения, являющийся функцией от температуры на условном участке длиной  $x$  по всей длине отливки  $L$ . Таким образом, относительную суммарную деформацию рассчитывали по выражению

$$\varepsilon = \frac{1}{L} \int_0^L \Delta T(x) \alpha(t) dx, \quad (2)$$

где  $\varepsilon$  – относительная суммарная деформация сечения стенки шлаковой чаши;

$L$  – длина сечения отливки, мм;

$\Delta T$  – изменение температуры с момента начала кристаллизации отливки, °С;

$\alpha(t)$  – коэффициент термического расширения при средней температуре ( $t_{cp}$ , °С) условного участка  $dx$ ,  $1/°C$ ;

$dx$  – длина условного участка, мм.

Изменение температуры с момента начала кристаллизации отливки можно рассчитать, как разницу

между температурой солидус применяемой стали и средней температурой условного участка в момент времени  $t$ .

$$\Delta T = T_{\text{сол}} - T_{\text{ср по dx}} \quad (3)$$

Распределение тепловых полей в теле отливки можно оценивать посредством компьютерного моделирования в специализированном программном обеспечении.

Рассмотрим практическое применение предложенного показателя на примере отливки «Шлаковая чаша» объёмом 16 м<sup>3</sup>. Оценим склонность отливки к трещинообразованию при условии заливки через различные варианты литниковых системы, а также при установке рёбер жесткости.

На первом этапе провели моделирование процессов заливки и кристаллизации отливки «Шлаковая чаша» в программном обеспечении LVM Flow.

Результаты моделирования по распределению тепловых полей в теле отливки при условии заливки через различные конструкции литниковых систем представлены в виде цветового кодирования на рис. 1.

В первом случае (рис. 1, а) отливка заливалась через сужающуюся литниковую систему с соотношением суммарных площадей питателей и литника  $\Sigma F_{\text{пит}} : F_{\text{л.х.}} = 1,0 : 1,05$ ;  $\Sigma F_{\text{пит}} < F_{\text{лит}}$  [2]. При этом на теле отливки наблюдаются три ярко выраженные температурные зоны, наличие которых обусловлено условиями поступления металла в полость формы.

Во втором случае (рис. 1, б) для заливки формы применялась расширяющаяся литниковая система с соотношением суммарных площадей питателей и литника  $\Sigma F_{\text{пит}} : F_{\text{л.х.}} = 2,5 : 1,0$ ;  $\Sigma F_{\text{пит}} > F_{\text{лит}}$ . Кроме того, питатели имели эллиптическую форму, расширяющуюся кверху, что способствовало снижению скорости истечения металла на выходе из питателей [3].

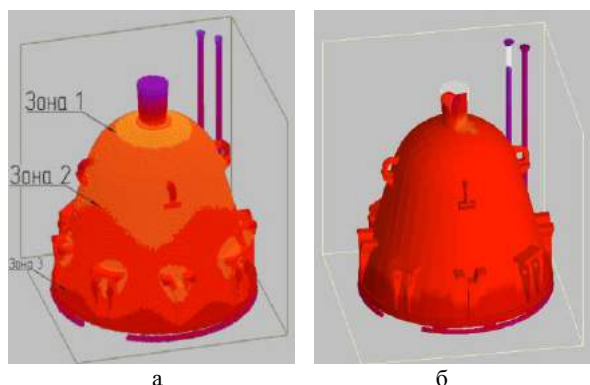


Рис. 1. Распределение тепловых полей на теле отливки «Шлаковая чаша»:

а – заливка через сужающуюся литниковую систему;  
б – заливка через расширяющуюся литниковую систему

В третьем случае проводили моделирование процесса заливки и кристаллизации отливки «Шлаковая чаша» с установленными на неё ребрами жёсткости

сти. В качестве конструкции литниковой системы была выбрана расширяющаяся литниковая система с технологическими параметрами:  $\Sigma F_{\text{пит}} : F_{\text{л.х.}} = 2,5 : 1,0$ ;  $\Sigma F_{\text{пит}} > F_{\text{лит}}$ , как в предыдущем случае.

Трёхмерная модель шлаковой чаши и распределение тепловых полей в начальный период кристаллизации отливки в форме представлены на рис. 2.

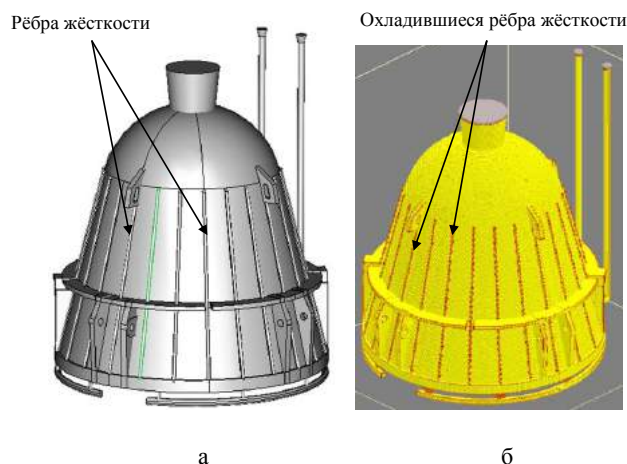


Рис. 2. Трёхмерная модель отливки «Шлаковая чаша» (а) и распределение тепловых полей на её поверхности (б) в начальный момент кристаллизации

Для расчёта предложенного показателя трещиностойкости и оценки влияния технологической мероприятий (конструкции литниковой системы, рёбер жесткости) необходимо знать величины физико-механических свойств стали марки 25Л, из которой отливается «Шлаковая чаша», во всём интервале температур, а именно: предел прочности (МПа), коэффициент термического расширения (1/°С).

Эти исследования проведены, а результаты подробно изложены в источниках [4].

Результаты расчёта предложенного показателя трещиностойкости по методике, изложенной выше, представлены графически на рис. 3. Следует отметить, что предложенный показатель был рассчитан для трёх технологических вариантов изготовления отливки «Шлаковая чаша».

Из выражения (1) следует, что чем выше значение показателя трещиностойкости, тем меньше вероятность образования горячих трещин на теле отливки. Это обусловлено либо высоким значением предела прочности стали ( $\sigma_B^{min}$ ) в самом «горячем» участке стенки отливки – потенциальном участке возникновения трещин, либо низким значением относительной суммарной деформации, обусловленным более рациональным распределением температурных полей в теле отливки.

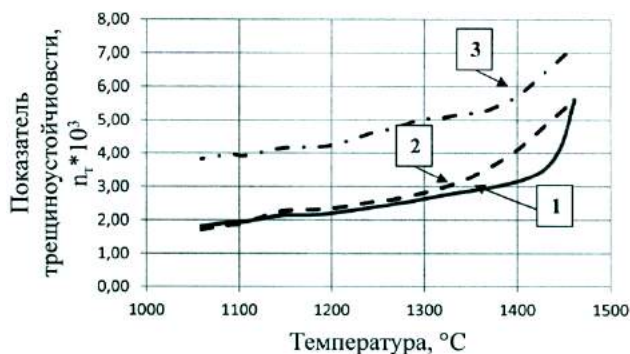


Рис. 3. Результаты расчёта показателя трещиностойкости: 1 – заливка через сужающуюся литниковую систему; 2 – заливка через расширяющуюся литниковую систему; 3 – заливка через расширяющуюся литниковую систему (чаши с ребрами жесткости)

Из рис. 3 можно сделать выводы, что в случае заливки «Шлаковой чаши» через сужающуюся литниковую систему вероятность образования горячих трещин на отливке выше, чем в случае заливки через расширяющуюся. Так как именно в этом случае (заливка через сужающуюся литниковую систему) образуется три ярко выраженные температурные зоны (см. рис. 1, а).

В случае установки на отливке технологических ребёр жесткости вероятность образования трещин снижается практически в два раза.

#### Сведения об авторах

**Вдовин Константин Николаевич** – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: (3519) 29-85-30. E-mail: Vdovin@magtu.ru

**Феоктистов Николай Александрович** – ассистент кафедры литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 29-84-19. E-mail: koljan\_87@mail.ru.

---

### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

---

#### THE ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL MEASURES AIMED AT PREVENT HOT CRACKS IN STEEL CASTINGS

**Vdovin Konstantin Nikolaevich** – D. Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: [Vdovin@magtu.ru](mailto:Vdovin@magtu.ru)

**Feoktistov Nikolai Aleksandrovich** – Assistent, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: [koljan\\_87@mail.ru](mailto:koljan_87@mail.ru)

**Abstract.** The method of estimating the probability of formation of hot cracks in steel castings using the proposed measure of traneerstation. The estimation of the probability of hot tre-men in large steel castings, provided the fill through different ways of Gating systems and installation of reinforcing ribs on the casting.

**Keywords:** large steel casting, thermal fields, voltage, crystallization, the rate of traneerstation.

#### References

1. Konstantinov P., Trunov A. *Napryazheniya, deformatsii i treschiny v otlivkakh*. [Stress, strain and cracks in the castings]. Moscow: Mashinostroenie engineering, 1981, 199 p.
2. Vdovin K., Feoktistov N. Simulation of the filling process and crystallization casting slag bowl. *Liteyschik Rossii*. [Caster Russia]. 2012, no. 3, pp. 12 - 14.

3. Vdovin K., Feoktistov N. Simulation of the filling process and crystallization casting slag bowl (continued). *Liteyschik Rossii*. [Caster Russia]. 2012, no. 7, pp. 11-12.
4. Vdovin K., Feoktistov N., Pivovarova K. The Study of the physical properties of carbon steel for large castings. *Stal*. [Steel]. 2014, no. 4, pp. 34 - 36.



УДК 621.742.4

Фирстов А.П.

## КИНЕТИКА РЕАКЦИИ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ЖИДКОГО СТЕКЛА КИСЛОТАМИ В ЩЕЛОЧНОЙ СРЕДЕ

**Аннотация.** Зависимость скорости от концентрации выражает основной постулат кинетики, а сложные реакции при расчете констант скоростей складывается из расчетов отдельных стадий реакций, по которым, в дальнейшем, судят о порядке реакции или ее отдельных стадий.

**Ключевые слова:** потенциометрия, кондуктометрия, жидкое стекло, порядок реакции, коагуляция.

Вопрос о порядке реакции коагуляции коллоидных зелей интересует специалистов почти век. Мариан фон Смолан-Смолуховский в 1916–1918 годах в своих трудах [1, 2] разработал теорию быстрой коагуляции. М. Смолуховский предложил рассматривать процесс коагуляции как попарное слипание частиц, это, в свою очередь, причисляет процесс коагуляции к химической реакции второго порядка. Данное высказывание исходит из малой вероятности одновременного столкновения трех и более частиц.

В свою очередь Айлер Р. [3], изучая коагуляцию дигидроортосиликата натрия с кислотами, говорит о наличии реакции третьего порядка при  $pH < 2$ , а при  $pH > 2$  – о наличии реакции второго порядка. Стрелко В.В. [4] также признавал возможность альтернативных вариантов механизма реакции полимеризации кремневых кислот.

Важным является установление протекания реакции коагуляции щелочных дигидроортосиликатов натрия и зависимость влияния модуля и концентрации исходных веществ на время отверждения продукта реакции. Данные исследования позволяют прогнозировать нахождение необходимого времени потери подвижности системы.

В работе [5] был исследован потенциометрическим методом ряд жидких стекол с различным модулем  $M$  = от 1,8 до 3,0 и концентрацией от 58,3 до 166,25 кг/м<sup>3</sup> (разбавление до плотностей 1050, 1150 и 1200 кг/м<sup>3</sup>) для нахождения времени потери подвижности системы. Эти исследования позволяют применить для определения порядка реакции «метод подбора уравнений».

Из работ авторов [3,6,7] установлено, что при нейтрализации жидкого стекла кислотами в щелочной среде присутствуют три области. Это буферная область, области медленной и быстрой коагуляции.

Существование трех областей при ходе потенциометрического титрования не явно видно и границы их размыты (рис.1).

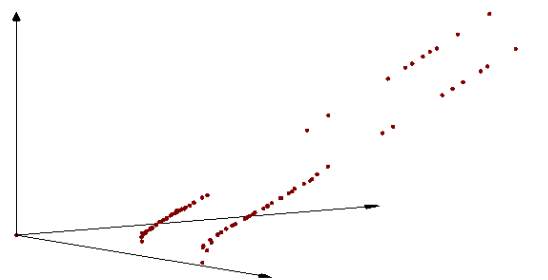


Рис.1. Потенциометрическое титрование жидкого стекла с  $M = 2,0$  концентрации  $C = 1,223$  моль/л и содержанием  $SiO_2=29,5\%$ ,  $Na_2O=15,03\%$  (левая кривая) и с  $M=3,0$  концентрации  $C = 0,875$  моль/л и содержанием  $SiO_2=28,5\%$ ,  $Na_2O=9,51\%$  (правая кривая)

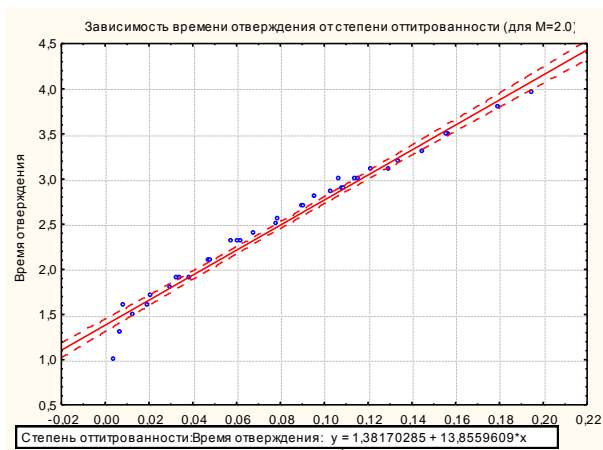
Картина реакции немного проясняется при постановке прямой зависимости времени отверждения системы от степени оттитрованности, полученной с помощью программы Statistica 6.0, с доверительным интервалом для уровня значимости  $\alpha=0,05$  (рис. 2).

Как видно из рис.2, прямые уравнения имеют: первый излом при значении 0,2 и 0,24 и второй излом при 0,05 и 0,07 для жидких стекол  $M=2,0$  и  $M=3,0$  соответственно, что соответствует времени три и девять часов (первый излом) и три и восемь с половиной минут (второй излом). Видно, что время значительно влияет на отверждение системы, поэтому имеет смысл к исходным данным добавить еще один фактор, это модуль жидкого стекла.

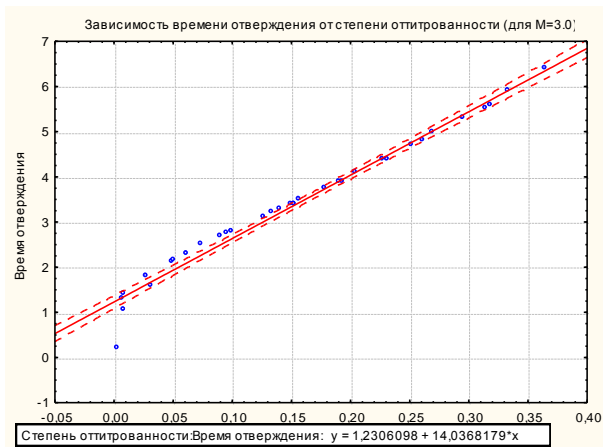
Добавление третьего фактора скорректировало уравнения, приведенные на графиках рис.2, и уравнение стало иметь следующий вид:

$$1,65 - 0,142x_1 + 14,05x_2, \quad (1)$$

где  $x_1$  – модуль жидкого стекла;  
 $x_2$  – степень оттитрованности.



а



б

Рис. 2. Зависимость времени отверждения системы от степени оттитрованности; а – жидкое стекло с  $M=2,0$ ; б – жидкое стекло с  $M=3,0$

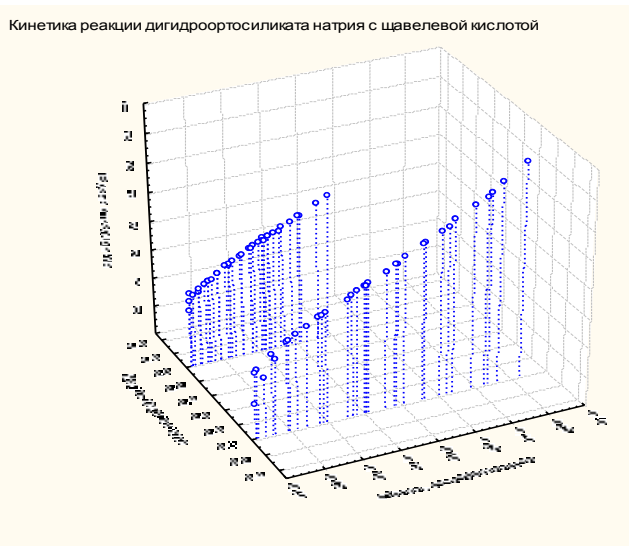
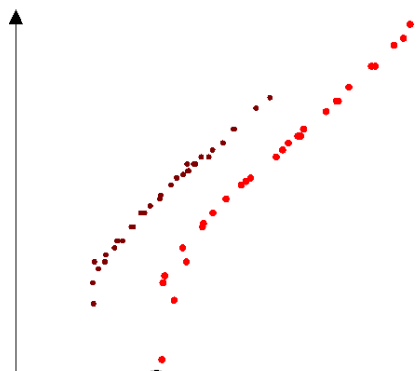


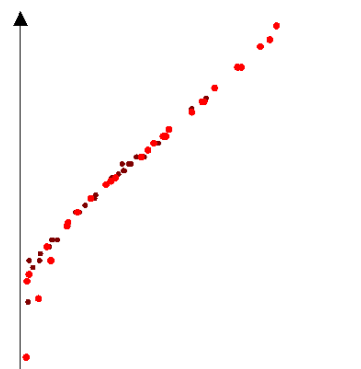
Рис.3. Зависимость времени отверждения системы от степени оттитрованности и модуля жидкого стекла

Идентичность двух графиков на рис.3 с разными модулями можно проиллюстрировать при их постро-

ении с теми же данными при использовании программы 3D Grapher v. 1.2 (рис.4).



а



б

Рис.4. Вращение потенциометрических графиков нейтрализации жидкого стекла с укороченной буферной областью: а – угол вращения  $348^{\circ}$ ; б – угол вращения  $0^{\circ}$

Характеристика жидких стекол, показанных на рис.4, приведена на рис.1 и соответствует: левая кривая –  $M=2,0$ , а правая кривая –  $M=3,0$ .

Для достижения более точных результатов по нахождению перечисленных выше областей применим кондуктометрическое титрование. Сущность кондуктометрического титрования заключается в измерении электропроводности раствора, меняющейся в ходе химической реакции после добавления очередной порции титранта. По полученным данным строят графическую зависимость электропроводности раствора от количества (мл) добавленного реагента (рис.5).

На кривой титрования кислоты средней силы с более слабой кислотой наблюдаем широкую область с двумя явно видимыми изгибами, которые соответствуют продолжительной буферной области, короткой – медленной коагуляции и очень короткой – быстрой коагуляции, примыкающей к точке эквивалентности.

Крайняя правая область соответствует избыточной кислоте, которая была добавлена после полной нейтрализации жидкого стекла.



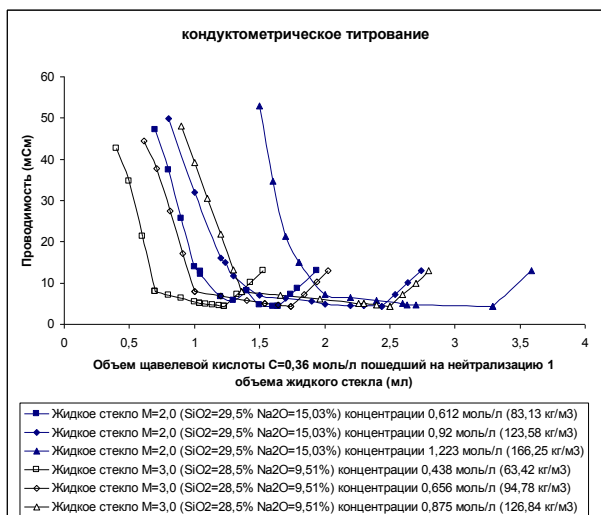


Рис.5. Кривые кондуктометрического титрования жидкого стекла с кислотой средней силы (щавелевая кислота)

Чтобы уменьшить число кривых и сделать более наглядным картину исследуемого объекта, заменим ось абсцисс, построенную на рис.5 в миллилитрах, на степень оттитрованности и прорисовку отрезков на графике покажем без промежуточных значений (рис.6). Данный шаг по замене шкалы оси абсцисс возможен при случае полной идентичности графиков нейтрализации жидкого стекла проиллюстрированный на рис.4, б.

Из построенного упрощенного варианта кондуктометрического титрования видна вся сложная кинетика реакции нейтрализации жидкого стекла кислотой, с четкими границами присутствующих в ней областей.

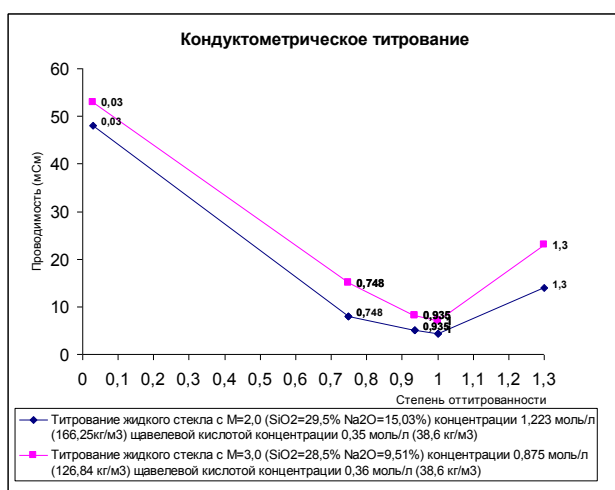


Рис.6. Упрощенный вариант кондуктометрического титрования

Буферная система у дигидроортосиликата натрия обладает очень высокой буферной емкостью, являясь достаточно мощной [9]. Буферное действие сможет сохраняться длительное время, т.к. в результате протекающих реакций буферная система будет периодически восстанавливать свой первоначальный количественный и качественный состав. Резкое изменение pH наблюдается только после нейтрализации значительной части кислоты, и в нашем случае понадобилось 74,8%, что составило 15 ч до полной потери подвижности системы.

Область медленной коагуляции находится в интервале от 74,8 до 93,5%, что составляет 18,7%, заканчивая временем отверждения, составляющим 3,5 мин. В этой области столкновения молекул приводят к слипанию, превалируя над силами отталкивания.

Область быстрой коагуляции составляет всего 6,5%, где все молекулярные столкновения приводят к дальнейшему слипанию и росту мицелл. Кроме того, ионогенная часть мицеллы может образоваться из вещества самого агрегата, поверхность которого реагирует с окружающей его водой и образует ортокремневую кислоту  $H_4SiO_4$ .

Параметр	Время т, с								
	10	35	120	500	700	$1 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^5$
Ж. ст. M=2,0 $C$ моль/л = 1,18	1,14	1,1	0,96	0,82	0,78	0,82	0,61	0,5	0,43
$K_1$ порядка, $C^{-1}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$4,5 \cdot 10^{-6}$	$4,4 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-7}$
$K_2$ порядка, $M^3/МОЛЬ \cdot С$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$6,5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$5,2 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$
Ж. ст. M=3,0 $C$ моль/л = 0,875	0,85	0,78	0,73	0,66	0,6	0,5	0,42	0,38	0,31
$K_1$ порядка, $C^{-1}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$5,2 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$5,5 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$
$K_2$ порядка, $M^3/МОЛЬ \cdot С$	$3,7 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$6,8 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$8,5 \cdot 10^{-6}$	$9,2 \cdot 10^{-6}$

Определившись с областями, присутствующими в ходе нейтрализации жидкого стекла, переходим к нахождению порядка реакций в каждой области.

Порядок реакции «методом подбора уравнений» находим по константам скорости реакции. Расчет константы скорости реакции ведем по уравнению первого и второго порядка для каждого значения полученного времени отверждения.

Нулевой порядок реакции характерен для гетерогенных реакций и не зависит от времени, т.е. является величиной постоянной. Для третьего порядка реакции в процессе должны участвовать минимум три компонента веществ с одинаковыми исходными концентрациями или количествами вещества. Это говорит, что в нашем случае данные условия не наблюдаются [11].

По данным, полученным потенциометрическим методом, определены следующие зависимости (см. таблицу).

Расчет констант скорости реакции велся по уравнению первого порядка

$$k_1 = \frac{1}{\tau} \operatorname{Ln} \left( \frac{C_1}{C_2} \right), \text{ (с}^{-1}\text{)} \quad (2)$$

и по уравнению второго порядка

$$k_2 = \frac{1}{\tau} \left( \frac{1}{C_1} - \frac{1}{C_2} \right). \quad (3)$$

Константа скорости реакции, рассчитанная по уравнению (2), меняется во времени с модулем  $M=2,0$  и  $M=3,0$  во всех трех областях, поэтому реакция не относится к первому порядку.

Константа скорости реакции, рассчитанная по уравнению (3), меняется во времени с модулем  $M=2,0$  и  $M=3,0$  только в области быстрой коагуляции. Незменна скорость реакции в буферной области и области медленной коагуляции.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Кинетика реакции нейтрализации дигидроксисиликата натрия имеет сложный и не однозначный характер.

2. Область быстрой коагуляции не принадлежит к реакциям первого и второго порядков, возможно, будет принадлежать к реакции нулевого порядка, так как здесь уже присутствуют довольно большие агрегаты, резко разнящиеся с дисперсионной средой. Это создает гетерогенную среду и характерные условия для протекания реакции нулевого порядка.

3. Буферная область и область медленной коагуляции принадлежат к реакциям второго порядка, но с различными константами скоростей реакции.

В производственных условиях применение жидкостекольного связующего для получения смесей сопряжено со временем отверждения от получаса до

одного или двух часов, что соответствует области медленной коагуляции, и кинетика реакции здесь подчиняется реакции второго порядка, нахождение времени отверждения можно получить из уравнения (1) с достаточной долей достоверности ( $r = 0,989$  при  $\alpha = 0,05$ ).

#### Список литературы

1. Смолуховский М. Число и величина молекул и атомов // В.О.Ф.Э.М. 1913. № 586. С. 288–293.; № 587. С. 297–305.
2. Смолуховский М. О понятии случайности и о происхождении законов вероятностей в физике // УФН. 1927. В. 5.
3. Айлер Р. Химия кремнезема: пер. с англ. М.: Мир, 1982. Ч.1. 416 с.
4. Стрелко В.В. Механизм полимеризации кремневых кислот // Коллоид. ж. 1970. Т. 32. № 3. С. 430–436.
5. Фирстов А.П. Литейные противозерозионные формовочные покрытия на связующем из модифицированного жидкого стекла : дис. ... канд. техн. наук: 05.16.04 / Фирстов Александр Петрович; Юж.-Урал. гос. ун-т. Челябинск, 2008. 136 с.
6. Шабанова Н.А., Саркисов П.Д. Основы золь-гель технологии нанодисперсного кремнезема. М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. 208 с.
7. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. М.: Химия, 1975. 513 с.
8. Комплексоны в химическом анализе / Р. Пршибил; авт. теорет. части И. Корыта, пер. с чеш. Ю. И. Вайнштейн; под ред. Ю.Ю. Лурье. 2-е полностью перераб. и расшир. изд. М.: Изд-во иностр. лит., 1960. 580 с.
9. Корнеев В.И., Данилов В.В. Растворимое и жидкое стекло. СПб.: Стройиздат, 1996. 216 с.
10. Болтромаюк В.В. Общая химия: учеб. пособие. Минск: Высшейшая шк., 2012. 624 с.: 188 ил.
11. Патров Б.В., Сладков И.Б. Физическая химия: Ч.2: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2013. 139 с.

#### Сведения об авторе

**Фирстов Александр Петрович** – канд. техн. наук, доц., Нижнетагильский технологический институт (филиал) Уральского федерального университета. E-mail: [first55@mail.ru](mailto:first55@mail.ru)

---

### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

---

#### THE KINETICS OF THE REACTION OF NEUTRALIZATION OF LIQUID GLASS ACIDS IN ALKALINE MEDIUM

**Firstov Alexander Petrovich** – Ph. D. (Eng.), Assistant Professor, Nizhny Tagil technological Institute (branch) Ural Federal University. E-mail: [first55@mail.ru](mailto:first55@mail.ru)

**Abstracts.** The dependence of rate on concentration expresses the basic postulate kinetics, and complex reactions in the calculation of the velocity constants consists of the calculation of individual stages of the reactions, which, in the future, judge the reaction order or its separate stages.

**Keywords:** Potentiometry, conductometry, liquid glass, the order of reaction, coagulation.

#### References

1. Smoluchowski M. The number and size of molecules and atoms. VOGEL. 1913, no. 586, pp. 288-293.; no. 587, pp. 297-305.
2. Smoluchowski M. The notion of randomness and about the origin of the laws of probability in physics. Phys. 1927. Century 5.
3. Ailer P. *Himiya kremnezema*. [The chemistry of silica]. Moscow: Mir, 1982, part 1, 416 p.
4. Strelko centuries polymerization of silicic acid. Colloid. W. 1970, vol. 32, no. 3, pp. 430-436.

5. Firstov A. P. Casting erosion forming the coating on the binding of the modified liquid glass. Ph.D. dissertation Sciences : 05.16.04 / Firstov Alexander Petrovich; S-Ural State University-I. Chelyabinsk, 2008, 136 p.
6. Shabanova N.A., Sarkisov P.D. Fundamentals of Sol-gel technology nanodispersed kremnezemom. Moscow: ICC "Akademkniga", 2004, 208 p.
7. Voski S. Course of colloid chemistry. Moscow: Chemistry, 1975, 513 p.
8. The chelating agents in chemical analysis: a scientific edition / R. Pribil; ed. Teoret. part I. Trough, Per. c the Czech. Y. I. Weinstein, edited by Y. Y. Lurie. 2nd completely Rev. and EXT. ed. Moscow: Publishing house of foreign. lit., 1960, 580 p.
9. Korneev C. I. Danilov centuries Soluble and liquid glass. St. Petersburg: Stroiizdat, 1996, 216 p.
10. Boltromeyuk V.V. Century General chemistry : textbook. Beltramea. Minsk: HQ, 2012, 624 p.
11. Patrov B.V., Sladkov I.B. Pat Ro in B.C., lad Ko in I. B. Physical chemistry: Part 2. The textbook. the allowance. SPb.: The universiity publishing house, 2013, 139 p.



УДК 620.179.14:[621.771.07:620.193.91]

Вдовин К.Н., Лисовская М.А.

## МАГНИТНЫЙ МОНИТОРИНГ РАБОЧИХ ВАЛКОВ ПРИ ИСКУССТВЕННОМ СТАРЕНИИ

***Аннотация.** В работе представлены исследования изменения коэрцитивной силы и твердости в стальных рабочих прокатных валках, изготовленных методом электрошлакового переплава, при искусственном старении. Магнитную диагностику проводили с помощью переносного коэрцитиметра для стали марок 9Х2МФ и 9Х1 во время вылежки валков на складе (искусственном старении). Партии валков по 5 штук в каждой помещались в одинаковые условия. Коэрцитивная сила, характеризующая напряженное состояние валка, за время вылежки уменьшилась по бочке валка на 100–250 А/м. Твердость уменьшилась на 1–2 единицы HRC за весь срок вылежки и у готовых валков изменялась в пределах 63–67 единиц. В работе наглядно представлены перераспределение коэрцитивной силы по бочке валка и ее изменение за весь срок вылежки для каждого валка партии. При эксплуатации валки с равномерным распределением  $\langle H_c \rangle$  по бочке валка показали большую среднюю стойкость и прошли большее количество перешифровок.*

***Ключевые слова:** валок, искусственное старение, коэрцитивная сила, твердость, стойкость, электрошлаковый переплав, качество.*

Рабочие прокатные валки – это основной инструмент прокатного производства, стойкость которого существенно влияет на себестоимость и качество готового проката. Валки, изнашиваясь до определенных размеров или вследствие выкрошки металла, не имея полной выработки, списываются в лом.

Технология утилизации, а именно производство валков методом электрошлакового переплава (ЭШП) предусматривает использование отработанных валков в качестве электродов для переплава. Проведенные сравнительные испытания кованных валков и переплавленных показали, что свойства их и стойкость почти не отличаются, а стоимость покупных валков составляет примерно 65 тыс. руб., а валка после ЭШП – не более 20 тыс. руб. [1].

В рабочих валках холодной прокатки остаточные напряжения возникают, главным образом, в результате термической обработки – закалки. Особенно это выявляется при закалке токами промышленной частоты (ТПЧ). Когда валок закаливается в вертикальном положении и индуктор имеет ограниченную высоту, то шейки не всегда равномерно прогреваются. Это приводит к неравномерным термическим деформациям. При закалке валков ТПЧ в окрестностях шеек валков формируются зоны повышенных растягивающих остаточных осевых напряжений, снижающих проч-

ность валка. Они несут большую опасность, так как могут привести к поломке валка еще до ввода в эксплуатацию, а при суммировании с контактными напряжениями, при вводе, приводят к отслоению поверхностного рабочего слоя [2].

Для снижения остаточных напряжений в валках применяют естественный отпуск или искусственное старение, то есть вылежку валка на складе сроком до 6 мес. По литературным данным, величина сжимающих и растягивающих напряжений, в пределах закаленного слоя, снижается до 20% и происходит выравнивание твердости по бочке валка [3]. Также улучшаются служебные свойства валков, а именно средняя эксплуатационная стойкость [4].

Коэрцитивная сила ( $H_c$ ) является наиболее структурно-чувствительной магнитной характеристикой свойств материала и позволяет определить его напряженное состояние. Магнитный мониторинг, основанный на измерении коэрцитивной силы, рекомендуется применять при входном контроле, при оценке текущего состояния и остаточного ресурса, при контроле твердости бочки валка, а также при выборе режимов термообработки и искусственного старения [5]. Однако внедрение этого вида неразрушающего контроля, как и прочих, обусловлено рядом про-

блем и задач, решение которых связано с финансовыми вложениями и разработкой конкретных методик и технологий, что замедляет этот процесс [6].

Нахождение корреляционных связей между структурой, механическими свойствами сталей, остаточными напряжениями и коэрцитивной силой определяется для каждого объекта индивидуально, т.к. необходимо учесть марку стали, размеры валка, метод изготовления, режимы термической обработки и для этого нужна внушительная база данных.

В известной научной литературе магнитный мониторинг применяется в основном к чугунным валкам.

В ОАО «ММК-МЕТИЗ» (ММЗ) в прокатном цехе ленты 2 стана 400 изготавливают валки методом ЭШП из сталей 9Х1 и 9Х2МФ размерами: диаметр бочки 197–203 мм, общая длина 1240 мм. Исследовали снижение остаточных напряжений в готовых валках, полученных методом ЭШП и закаленных ТПЧ, в течение пяти месяцев. Валки помещали на хранение в одинаковые условия по пять штук в партии.

Для выбора оптимального срока искусственного старения этих рабочих валков контролировали изменение значений  $H_c$  на всём сроке вылежки. Контроль производили ежемесячно с последующей обработкой информации. Измеренная по бочке каждого валка величина  $H_c$  усреднялась ( $\langle H_c \rangle$ ), и на рис. 1 и 2 изображена зависимость этой усредненной величины от времени вылежки.

Из рис.1 и 2 видно, что  $\langle H_c \rangle$  для валков из двух марок стали лежит в различных диапазонах 9Х1: 1710–1940 А/м; 9Х2МФ: 1920–2130 А/м, при прочих одинаковых условиях: изготовление методом ЭШП, режимы термической обработки и т.д. Что подтверждает необходимость индивидуального подхода к каждому объекту контроля с большой базой данных и усложняет внедрение магнитного мониторинга в производство.

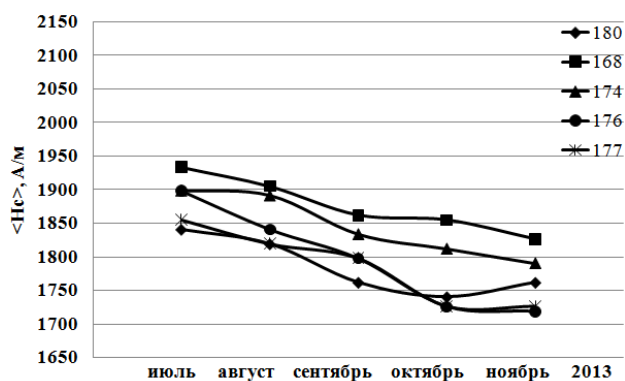


Рис. 1. Партия валков марки 9Х1

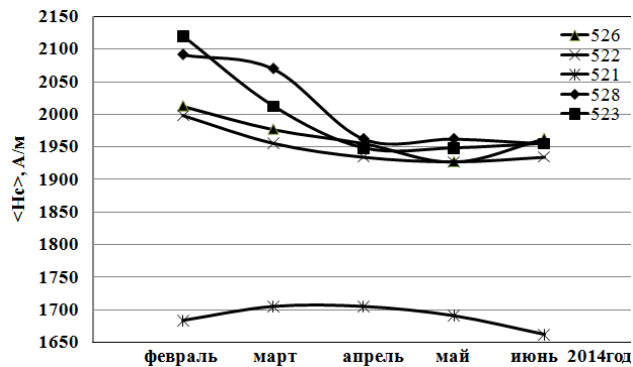


Рис. 2. Партия валков марки 9Х2МФ

Следует отметить незначительное уменьшение  $\langle H_c \rangle$  100–250 А/м за весь срок вылежки для обеих марок стали, тогда как для чугунных валков эта величина обычно составляет 400–500 А/м [7, 8]. Объяснить это можно структурой этих сталей, содержащих аустенит в количестве 15–20%, в чугуне его всего 2–3%.

В процессе вылежки величина  $\langle H_c \rangle$  в среднем уменьшилась на 10% и это меньше теоретических данных – 20%.

$\langle H_c \rangle$  для валка № 521 из стали 9Х2МФ (см. рис. 2) значительно отличалась от значений для всей партии в целом. Результаты дополнительных исследований показали низкую твердость по бочке валка 30–32 HRC, что обычно является следствием нарушением технологии изготовления или закалки. Исследовав химический состав стали этого валка (табл. 1), установили, что металл соответствует нормативным документам (НД) цеха и его рекомендовали отправить на повторную термообработку.

Таблица 1

Химический состав валка № 521

Требования по НД	Химический состав, %								
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	V
Значения согласно НД	0,85 - 0,95	0,25 - 0,5	0,2 - 0,7	до 0,03	до 0,03	1,7 - 2,1	до 0,5	0,2 - 0,3	0,1 - 0,2
Фактические замеры	0,86	0,32	0,58	0,004	0,008	1,75	0,17	0,23	0,17

В процессе мониторинга все валки, у которых наблюдали неравномерное распределение  $H_c$  по поверхности бочки или значительное отличие  $\langle H_c \rangle$  для данной марки стали, возвращались на повторную термическую обработку.

В проведенном ранее исследовании готовый валок № 15 из стали 9Х1, в котором разброс  $H_c$  составлял порядка 300 А/м, был допущен в эксплуатацию [9]. После ввода его в производство, он прокатал всего 180 т металла и был выведен из эксплуатации из-за выкрошки поверхностного слоя глубиной до 22 мм (рис. 3). Отслоение произошло по краю бочки со стороны приводной шейки. Измерения коэрцитивной силы по поверхности бочки этого валка приведены на рис. 4.

Исследовав химический состав стали этого валка (табл. 2), установили, что металл не соответствует

нормативным документам цеха. Измерив твердость валька, убедились, что она распределилась неравномерно (см. рис. 4), что тоже способствовало разрушению.

Изготовили шлифы из отслоившейся части валька и оценили микроструктуру металла, выявили, что она состоит из феррита, перлита и неравномерной сетки карбидов (рис. 5), то есть в этой части валька закалка не произошла, что и явилось одной из причин разрушения.

В каждом отдельном вальке во время вылежки наблюдалось перераспределение  $H_c$  по бочке валька (рис. 6), что можно объяснить тремя стадиями при искусственном старении.



Рис. 3. Выкрошка валька

Таблица 2

Химический состав валька № 15

Требования по НД	Химический состав, %									
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Cu
Значения согласно ГОСТ 5950-2000	0,8–0,95	0,25–0,45	0,15–0,45	не более 0,03	не более 0,03	1,4–1,7	не более 0,4	-	-	не более 0,3
Фактические замеры	0,79	0,32	0,58	0,004	0,008	1,75	0,17	0,044	0,098	-



Рис. 4. Распределение по бочке валька: а – коэрцитивной силы; б – твердости

Три стадии при искусственном старении представляют распад перенасыщенных твердых растворов. Считается, что на первой стадии в результате диффузии возникает концентрационная неоднородность, что приводит к изменению некоторых физических свойств без повышения прочности и твердости стали. На второй стадии образуются новые фазы с собственной ориентацией и границами, при этом изменяются некоторые физические свойства, а прочность и твердость стали значительно возрастают. На третьей стадии происходит коагуляция, т.е. укрупнение образовавшейся упрочняющейся фазы, что приводит к разупрочнению и снижению прочности и твердости [10].

Контроль значений твердости по бочке валька показал, что ее величина уменьшилась в среднем на 1–2 единицы HRC за весь срок вылежки. У готовых вальков твердость изменялась в пределах 63–67 единиц. Во время вылежки величина твердости по бочке валька

колебалась незначительно и определить сроки стадий искусственного старения не удалось.

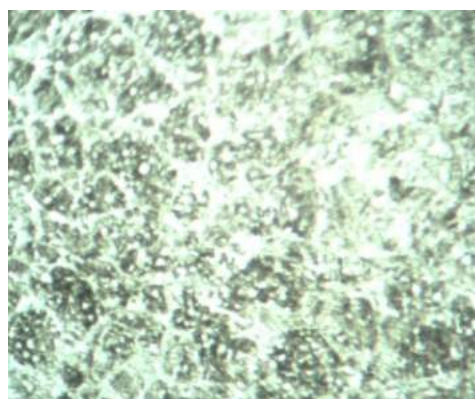


Рис. 5. Микроструктура стали (x1000)

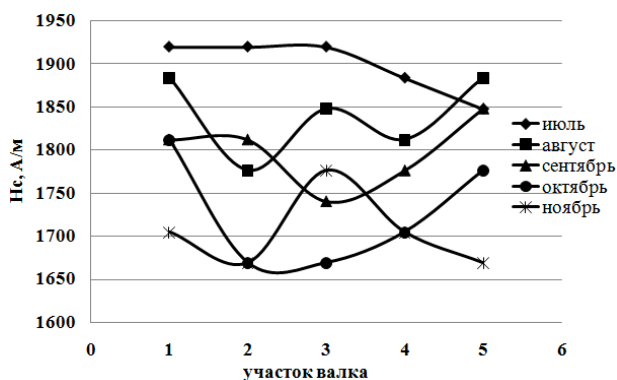


Рис. 6. Изменение  $H_c$  по валку № 176 при искусственном старении

В партии из стали 9Х2МФ было отмечено уменьшение  $H_c$  у края бочки с приводной шейкой для всех валков. На рис. 7 представлено распределение  $H_c$  по валку № 523 из этой партии. Такая закономерность была в дальнейшем устранена перенастройкой закалочной установки, что повлекло равномерность распределения  $H_c$  и твердости по бочке валка при последующих закалках на этой установке.

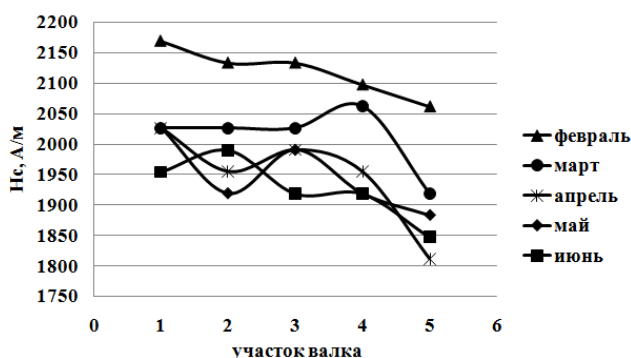


Рис. 7. Изменение  $H_c$  по валку № 523 при искусственном старении

Магнитный мониторинг проводится на ММЗ в прокатном цехе ленты в течение 2 лет (конец 2012–2014 гг.), что способствовало повышению показателей средней стойкости прокатных валков (табл. 3). Основными показателями при контроле служат равномерность распределения  $H_c$  по бочке и в партии валков в целом. При необходимости проводятся дополнительные исследования и делается заключение о презакалке или переплавке валков. Повышение количества прокатанных тонн металла на валок свидетельствует об эффективности предложенного мониторинга.

Внедрение магнитного мониторинга позволило своевременно на всех стадиях производства (закалка, перешлифовка, перезакалка) обнаружить нарушения технологии изготовления и дефектность валка, тем самым увеличивая стойкость и уменьшая стоимость готовой продукции.

Фактическая стойкость рабочих валков

Номер	Марка стали	Год	Средняя стойкость, т/валок
До внедрения магнитного мониторинга			
1	9Х2МФ	2010	1273,29
2	9Х2МФ	2011	1077,94
3	9Х1	2010	1033,3
4	9Х1	2011	996,05
После внедрения магнитного мониторинга			
5	9Х2МФ	2012	1333,52
6	9Х2МФ	2013	2221,05
7	9Х2МФ	2014	1275,32
8	9Х1	2012	1130
9	9Х1	2013	1430,1
10	9Х1	2014	1477,2

Примечание. Основной причиной выхода из строя рабочих валков является выкрошка.

В настоящее время большая часть исследованных валков находится в эксплуатации или на складе на вылежке.

Оптимальный срок искусственного старения было предложено уменьшить с 6 до 3–4 месяцев, так как  $H_c$  практически не изменяется после такого срока вылежки, а при увеличении длительности вылежки наблюдается постепенное снижение прочностных свойств, ударной вязкости и повышение пластичности.

#### Список литературы

- Освоение производства рабочих валков станом холодной прокатки методом электрошлакового переплава / Вдовин К.Н., Вершигора С.М., Адамчук С.В., Семенова О.В. // Теория и технология металлургического производства. Магнитогорск: МГТУ, 2004. Вып. 4. С.130-133.
- Прокатные валки / Вдовин К.Н., Гималетдинов Р.Х., Колокольцев В.М. и др. Магнитогорск: МГТУ, 2005. 540 с.
- Надежность и долговечность валков холодной прокатки / Полухин В.П., Николаев В.А., Тылкин М.А. и др. М.: Металлургия, 1976. 448 с.
- Вдовин К.Н., Ячиков И.М., Егорова Л.Г. Влияние естественного отпуска на надежность и долговечность валков холодной прокатки // Вестник Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. 2005. № 3-4. С. 107-108.
- Вдовин К.Н., Лисовская М.А. Управление качеством процесса производства и эксплуатации прокатных валков // Технология металлов. 2013. № 12. С.9-11.
- Samedov Ya.Yu. Problems of nondestructive testing of forming rolls. Russian Journal of Nondestructive Testing. 2008, vol. 44, Iss. 4, pp. 229-235.
- Гималетдинов Р.Х., Агзамов С.Р. Контроль качества литых чугунных прокатных валков при их производстве на Кушвинском заводе прокатных валков // Труды пятого конгресса прокатчиков. М.: АО «Черметинформация», 2004. С. 474-476.
- Оценка состояния прокатных валков с использованием магнитного мониторинга / Луценко А.Н., Монид В.А., Казюкевич И.А. и др. // Труды пятого конгресса прокатчиков. М.: АО «Черметинформация», 2004. С. 482-483.
- Вдовин К.Н., Лисовская М.А. Производство стальных валков методом ЭШП и магнитный мониторинг их качества // Металлургические процессы и оборудование. 2013. № 3 (33). С. 33-40.
- Ланская К.А. Высокохромистые жаропрочные стали. М.: Металлургия, 1976. 216 с.

**Сведения об авторах**

**Вдовин Константин Николаевич** – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: (3519) 29-85-30. E-mail: Vdovin@magtu.ru

**Лисовская Мария Александровна** – ст. преп. кафедры физики, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8 (3519) 29 84 70. E-mail: lisovskaya.maria@yandex.ru.

---

*INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH*

---

**MAGNETIC MONITORING OF THE WORK ROLLS DURING ARTIFICIAL AGING**

**Vdovin Konstantin Nikolaevich** – D. Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: [Vdovin@magtu.ru](mailto:Vdovin@magtu.ru)

**Lisovskaya Maria Aleksandrovna** – Assistant Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: (3519) 29 84 70. E-mail: [lisovskaya.maria@yandex.ru](mailto:lisovskaya.maria@yandex.ru).

**Abstract.** *The paper presents a study of the coercive force change and the hardness of steel work rolls, produced by the method of electroslag remelting, at artificial aging. Magnetic diagnostics was performed using a portable coercimeter for steel grades 9Cr2MoP (9X2MФ) and 9Cr1 (9X1) during rolls rest in the storehouse (artificial aging). Batches of rolls 5 pieces in each were placed in equal conditions. Coercive force characterizing the stress state of the roll decreased by 100–250 A/m on the roll body during rest. Hardness decreased by 1–2 units HRC for the entire rest period and the finished rolls were changed in the range 63–67 units. The article visualizes the redistribution of the coercive force on the roll body and its change for the entire rest period for each roll of the batch. During operation the rolls with uniform < Hc > distribution on the roll body showed a higher average resistance and got a greater number of re-grindings.*

**Keywords:** roll, artificial aging, coercive force, hardness, durability, electroslag remelting, quality.

**References**

1. Vdovin K.N., Vershigora S.M., Adamchuk S.V., Semyonova O.V. Development of cold rolling mills work rolls production by method of electroslag re-melting. *Teoriya i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [Theory and technology of metallurgical production]. Magnitogorsk: MGTU, 2004, no. 4, pp. 130-133.
2. Vdovin K.N., Gimaletdinov R.Kh., Kolokoltsev V.M. and others. *Prokatnyie valki* [Mill rolls]. Magnitogorsk: MGTU, 2005, 540 p.
3. Polukhin V.P., Nikolaev V.A., Tylkin M.A. and others. *Nadezhnost i dolgovechnost valkov holodnoy prokatki*. [Reliability and durability of cold rolling rolls]. Moscow: Metallurgiya, 1976, p. 448.
4. Vdovin K.N., Yachikov I.M., Egorova L.G. *The influence of natural rest on reliability and durability of cold rolling rolls*. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta im. I.I. Polzunova*. [Vestnik of Altajsk State Technical University by I.I. Polzunov] 2005, no. 3-4, pp. 107-108.
5. Vdovin K.N., Lisovskaya M.A. Quality control during production process and operation of rolls. *Tehnologiya metallov* [Metal technology]. 2013, no. 12, pp. 9-11.
6. Samedov Ya.Yu. Problems of nondestructive testing of forming rolls. *Russian Journal of Nondestructive Testing*. 2008, vol. 44 (issue 4), pp. 229-235.
7. Gimaletdinov R.Kh., Agzamov S.R. The quality control of cast iron rolls during manufacturing on Kushvinsky rolls plant. *Trudy pyatogo kongressa prokatchikov*. [Materials of fifth congress of rollinger] Moscow: AO "Chermetinformatsya". 2004, pp. 474-476.
8. Lutsenko A.N., Monid V.A., Kazyukevich I.A. and others. Rolls condition assessment using magnetic monitoring. *Trudy pyatogo kongressa prokatchikov*. [Materials of fifth congress of rollinger]. Moscow: AO "Chermetinformatsya". 2004, pp. 482-483.
9. Vdovin K.N., Lisovskaya M.A. Production of steel rolls using the method of ESR and magnetic monitoring of their quality. *Metallurgicheskiye protsessy i oborudovanye* [Metallurgical processes and equipment]. 2013, no. 3 (33), pp. 33-40.
10. Lanskaya K.A. *Vyisokhromistyie zharoprochnyie stali* [High-chromium heat-resistant steels]. Moscow: Metallurgiya, 1976, p. 216.



# ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.771.25:669.017:669.15

Сычков А.Б., Малашкин С.О.

## ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ТЕРМОПРАВКИ – ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ ФАСОННОГО ПРОФИЛЯ

***Аннотация.** В статье приводится анализ современного подхода в металлургической практике к обеспечению двух качественных характеристик фасонного проката из низкоуглеродистых и низколегированных марок стали – его прямолинейности и механических свойств. При этом представлены различные технические решения, предлагаемые некоторыми фирмами-изготовителями энергетического оборудования и металлургическими заводами. Уделяется особое внимание совмещению двух термических технологических процессов: термоправке искривленных раскатов (ТП) и термомеханическому упрочнению (ТМУ) проката в потоке производства непосредственно на прокатном стане или после деформирования металла перед или на холодильнике.*

*Методы ТП-ТМУ эффективны для правки и упрочнения сложных симметричных и несимметричных фасонных профилей. Требуемый уровень механических свойств, мелкозернистая структура достигаются за счет использования интенсивного водяного охлаждения с тепла прокатного нагрева (процесс закалки с самоотпуском) путем дифференцированного охлаждения различных частей профиля в разное время процесса.*

***Ключевые слова:** термоправка, фасонный профиль, термомеханическое упрочнение, мелкозернистая структура, самоотпуск.*

В настоящее время производство фасонного проката сопровождается двумя основными проблемами.

Первая из них – это наличие на профилях, особенно несимметричного сечения (неравнополочные уголки, полосульбовый судостроительный профиль, тавровое сечение и т.п.), местного и/или общего искривления формы и даже размеров. Это связано с окончательным охлаждением металла после прокатки или на холодильнике в двухфазовой области – в межкритическом ( $\gamma \rightarrow \alpha$ ) интервале температур (МКИТ), в котором и возникают растягивающие внутренние напряжения и вызывающие искривление раскатов. Применение роликово-правильных машин (РПМ) для исправления искривлений после окончательного охлаждения раскатов в ряде случаев неэффективно.

Вторая проблема заключается в высокой температуре окончания прокатки (т.н. температура конца прокатки), которая формирует крупное зерно аустенита и наследственно крупное действительное ферритно-перлитное зерно, что обуславливает крайне низкие значения предела текучести и отношения пределов текучести и прочности металла фасонных профилей, которые зачастую ниже требований НД, и такой металл забраковывается. К нему относятся марки стали типа 09Г2, 09Г2С, 25Г2С и др. Методы снижения размеров действительного зерна заключаются в понижении температуры конца прокатки, что в большинстве случаев ограничивается энергосиловыми возможностями установленного оборудования, и ускоренном охлаждении раскатов после окончания деформирования профилей с использованием форсуночных устройств водяного охлаждения и процесса

прерванной или прерывистой закалки с прокатного нагрева с самоотпуском.

Последний технологический процесс, представляющий собой разновидность поточного термического или термомеханического упрочнения раскатов, наиболее эффективен как для правки профилей с целью исключения их искривления, так и для их упрочнения – повышения не только предела текучести и отношения пределов текучести и прочности, но и для обеспечения фасонным профилям свойств прочности, соответствующих более высокому классу прочности, которое ранее достигалось только за счет увеличения содержания легирующих упрочняющих элементов. Легирование значительно удорожает металлопродукцию заданного класса прочности.

Структура неохлажденного проката, полученного с высокой температурой конца прокатки, представляет собой разнородный (размер действительного зерна достигает № 5 и 4 по ГОСТ 5639-82); даже при неинтенсивном воздушном охлаждении возможно появление видманштеттовой структуры или бейнитной структуры взамен перлита. Такой прокат характеризуется крайне неоднородными механическими свойствами по своей длине, возможно хрупкое разрушение металла. Так, например, в соседних участках проката из стали 09Г2С могут наблюдаться предел текучести 320 (при норме не менее 345 МПа), отношение пределов прочности и текучести – 0,55 и 450 МПа. После ускоренного водяного охлаждения размер действительного зерна снижается до № 7–8 с формированием однородной ферритно-перлитной структуры и получением равномерных механических



свойств – предел текучести для проката из стали марки 09Г2С – 370–380 МПа, отношение пределов текучести и прочности – на уровне 0,66. После интенсивного водяного охлаждения, характерного для термоупрочнения, формируется слоистая квазикомпозитная структура – структура закалки с самоотпуском, и для проката из стали марки 09Г2С предел текучести равен 450 и более МПа, отношение пределов текучести и прочности – на уровне 0,72-0,75. У металла наблюдается при этом высокая пластичность и сопротивление хрупкому разрушению даже при отрицательных температурах.

На практике известны случаи применения интенсивного водяного охлаждения фасонных профилей, обеспечивающих получение обоих эффектов – и термоправки, и термоупрочнения; используется также и комбинированное воздействие – механическая правка, термическое упрочнение, возможно поверхностное (например, рельсы трамвайные и железнодорожные). Более часто на практике наблюдается такая обработка на мелких фасонных профилях наиболее симметричной формы (равнополочные уголки, швеллеры т.п.). Ниже представлен обзор методов термоправки - термомеханического упрочнения (ТП-ТМУ) фасонных профилей или уже применяемых на практике, или предлагаемых для использования некоторыми научно-технологическими организациями России, ближнего и дальнего зарубежья. В ряде случаев эти разработки проводились очень давно – до 30 лет назад, но тем не менее они не потеряли свою актуальность.

*1. Энергосталь-УкрНИИМет (Украина, г. Харьков)*

Предлагается применение универсальных водяных охлаждающих устройств струйного и в потоке сплошной воды фасонных профилей без существенных изменений оснастки при переходе на другие типоразмеры профилей. Охлаждение в две стадии – на первой более массивных участках сечения, на второй – всего сечения. Устройство устанавливается непосредственно после последней клетки стана. Имеется опыт внедрения установок термоправки на металлургических заводах СНГ–Нижнесергинский метизно-металлургический завод (НСММЗ), Макеевский металлургический комбинат (МакМК), Енакиевский металлургический завод [1].

Установка по расчету необходимого количества секций охлаждения достаточной длины (уточняется при проектировании), для осуществления транспортирования проката через секции охлаждения устанавливаются трайберы с фасонными роликами, соответствующими по форме проката, секции снабжаются универсальными форсочными устройствами со щелевыми или круглыми отверстиями. Необходима система минимальной автоматизации управления процессом правки-упрочнения.

Необходима оценка системы водоснабжения и ее подготовки для обеспечения требуемых расхода и давления (до 20 бар ориентировочно) воды и чистоты воды по механическим взвесям и наличию масла с целью предотвращения засорения форсочных устройств. Кроме того, следует обеспечить охлаждение воды, особенно в летний период, до необходимого уровня (примерно 23–25°C). Требуется проложить трассу для сброса отработанной воды с секций охлаждения на участке между последней клетью стана и холодильником.

На рис. 1 и 2 представлена схема двустадийного охлаждения фасонных профилей (первая стадия – охлаждение утолщенных элементов профиля, вторая стадия – общее охлаждение всего профиля).

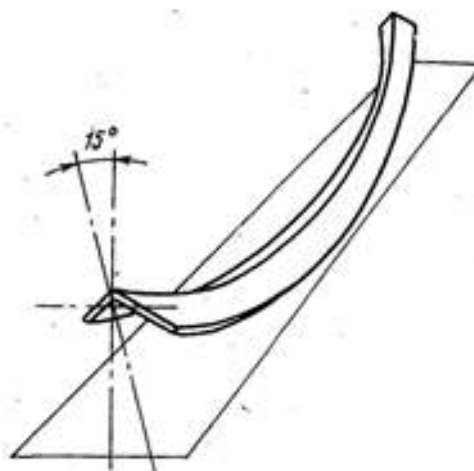


Рис. 1. Исходный направленный неравнополочный уголок с искривлением в двух плоскостях – вертикальной и горизонтальной

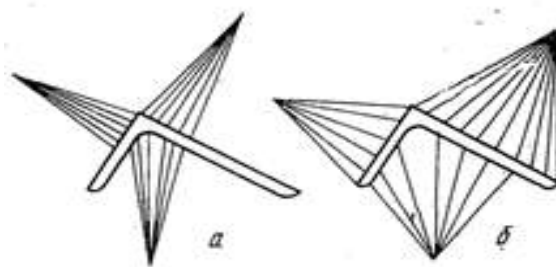


Рис. 2. Схема охлаждения элементов сечения углового профиля: а – первая стадия процесса; б – вторая стадия процесса.

На рис. 3 представлено устройство для охлаждения неравнополочного уголка.

На рис. 4 и 5 представлены универсальные устройства для ТП-ТМУ различных профилирумеров, прокатываемых на одном сортовом стане, конструкции УкрНИИМет.

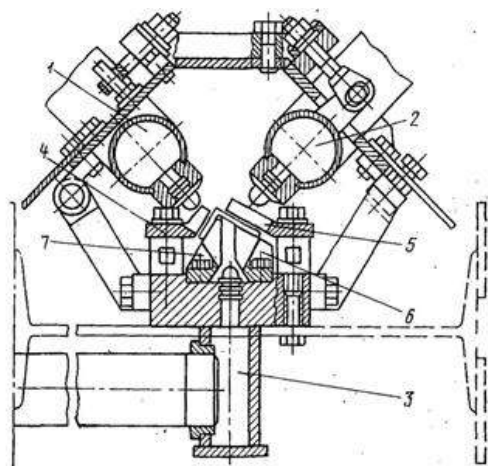


Рис. 3. Схема струевого устройства для охлаждения неравнополочного уголка конструкции УкрНИИМет: 1, 2, 3 – коллектора; 4, 5, 6, 7 – направляющие

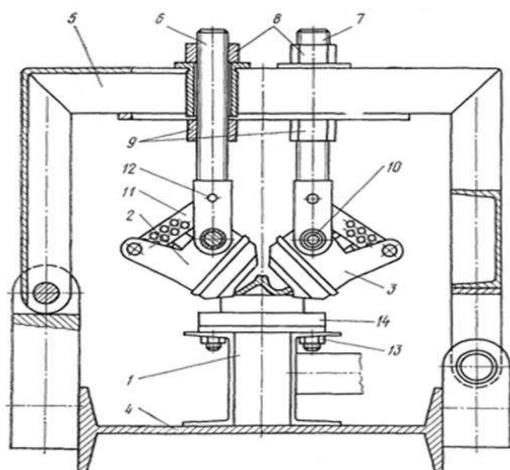


Рис. 4. Универсальные устройства для ТП-ТМУ фасонных профилей конструкции УкрНИИМет: 1, 2, 3 – коллектора; 4 – несущая балка; 5 – ребро короба; 6, 7 – винт; 8, 13 – гайки; 9 – фиксаторы винтов; 10 – оси; 11 – планки; 12 – фиксаторы планок; 14 – стол

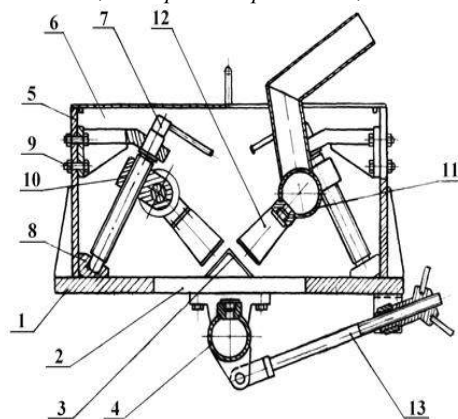


Рис. 5. Универсальные устройства для ТП-ТМУ фасонных профилей конструкции УкрНИИМет: 1 – основание; 2 – щели для сброса воды; 3 – охлаждаемый профиль; 4, 10, 11 – коллектора; 5 – стенка желоба; 6 – фланец; 7 – винт; 8 – подпятник, гайки; 9 – фиксатор; 12 – направляющая; 13 – тяга

### 2. Группа компаний «Корад» (Россия, г. Москва)

Предлагается установка охлаждающих устройств за последнюю клетку стана с использованием тянущих роликов, причем первый трайбер за прокатной клеткой должен иметь вертикальные ролики для осуществления частичной механической правки по ширине и направления раскатов по отводящему рольгангу к холодильнику.

Опыта внедрения подобных установок на металлургических заводах нет.

Установить охлаждающие устройства либо форсуночного типа, либо какого-либо иного – это предмет разработки технического предложения с полной автоматизацией приводов и системы управления термомправкой – термоупрочнением фасонных профилей. Предусматривается установка универсальной или комбинированной (попеременно работающей как горизонтальная или как вертикальная клетки) клетей.

После анализа представленной информации принимается решение по водообеспечению и качеству охлаждающей воды. Одним из ресурсосберегающих решений может быть применение водо-воздушного охлаждения, возможно с использованием поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Предлагается использовать последнюю клетку в группе в качестве трайб-аппарата для создания межклеточного натяжения. Между последней чистовой и последней тянущей клеткой размещаются секции охлаждения, обеспечивающие температуру профиля на выходе из тянущей клетки не более 650°C и разность температур по элементам сечения профиля не более 50°C. Исключение коробления профилей после правки и охлаждения за счет выравнивания температуры по сечению профиля и завершения фазовых превращений должны заканчиваться в межклеточном пространстве под действием растягивающих напряжений. Для их создания в требуемом профиле предлагается в качестве тянущих роликов использовать комплект валков, идентичных для чистовой клетки.

### 3. Центр новых систем охлаждения и технологий термоупрочнения металлов ОАО «ВНИИМТ» (Россия, г. Екатеринбург)

Сущность предложения – применение форсуночного экономного дифференцированного по разным сечениям профилей водо-воздушного секционного охлаждения [2].

Имеется опыт внедрения термомправящих и упрочняющих устройств в потоке станов – на Нижнесалдинском метзаводе (рельсовые подкладки), колесо-бандажный цех НТМК (закалка ж/д колес).

Установка секции охлаждения – термомправки/термоупрочнения равнополочных (по ГОСТ 8509) и неравнополочных уголков (ГОСТ 8510), швеллеров (ГОСТ 8240), предлагаемая для стана 350 ЧерМК, состоит из 5-ти секций длиной 5–6 м; для уголков предлагается по три форсунки сверху и снизу – 2-е из них интенсивно охлаждают массивную вершину сни-

зу и сверху; для швеллеров – до 5-ти форсунок сверху + 3-и форсунки снизу. Расход общий воды на 5 секций – до 1400 м<sup>3</sup>/ч, давление воды – 1.5–2.0 бар, расход воздуха – 40 м<sup>3</sup>/ч. Скорость прокатки – 9–15 м/с.

По заверению представителей фирмы, им не требуется повышенное количество, давление и качество охлаждающей воды.

#### 4. STG, Италия

Предлагаются разные решения для правки симметричных и несимметричных профилей относительно вертикальной оси при их прокатке:

- для симметричных профилей (равнополочные уголки, швеллер, двутавр) – через систему направляющих роликов на отводящем рольганке к холодильнику и механическое натяжение раската на холодильнике путем применения противовесов (предполагает минимальное расстояние между последней клетью стана и холодильником), используются фасонные реечные переключатели устройства на холодильнике;

- для несимметричных (неравнополочный уголок, полосульб) профилей – система форсуночного водяного охлаждения в две стадии: на первой – интенсивное охлаждение массивной части профиля с воздушной отсечкой воды от других участков профиля, на второй – общее охлаждение всех частей сечения профиля.

#### 5. Bascotecniasteel, Испания

Предлагается после последней клетки стана с универсальными валками устанавливать направляющее механическое устройство, которое центрирует и обеспечивает частичный эффект механической правки. При этом расстояние между последней клетью стана и холодильником составляет максимум 10 м. Близко к предложению фирмы STG для симметричных фасонных профилей.

#### 6. Опыт ОАО «Молдавский металлургический завод»

ТП-ТМУ осуществлялась на проектной стационарной установке типа «усовершенствованный Thermex» для термического упрочнения арматурного проката в прутках. Техническое решение заключалось в использовании кустарной самодельной установки, конструкция которой включала в себя следующее. Для каждого профилирующего размера (равнополочные уголки шириной полки 25–50 мм и толщиной 3–5 мм, швеллер № 5) подбирались по два (нижний и верхний)

уголка большего размера прокатываемого профиля, в несущих уголках прорезались или круглые, или щелевые прорезы. Несущие уголки помещались в ванну секции охлаждения линии «усовершенствованный Thermex», а между ними по входным направляющим подавался прокат, который надо было подвергнуть термическому воздействию. В работу в зависимости от профиля и цели водяного охлаждения вводились от 2 до 4–5 секций. Для обеспечения эффекта термической правки проводится охлаждение в первый период только массивных участков у вершин(ы) профиля, а затем в последующих секциях все участки профиля равномерно. Для упрочнения фасонных профилей применяют более интенсивное охлаждение. Особенно в последних секциях. Выбор интенсивности охлаждения осуществляется эмпирически. Эффект ТП заключался в отказе от применения РПМ, а термоупрочнения – для проката из стали типа 09Г2С предел текучести обеспечивался не менее 450 вместо 330 МПа.

Все ресурсы имеются в составе прокатного стана и линии термического упрочнения проката в прутках.

В условиях ОАО «ММЗ» внедрение технологии ТП-ТМУ фактически беззатратное.

#### Заключение

Данные, приведенные в настоящей статье, доказывают принципиальную возможность применения для правки и упрочнения сложных симметричных и несимметричных фасонных профилей эффективных и дешевых методов термического воздействия с использованием интенсивного водяного охлаждения и тепла прокатного нагрева. При этом обеспечивается требуемая мелкозернистая или квазикомпозитная структура и удовлетворительный комплекс механических свойств. Для этого необходима организация проведения НИР и опытно-промышленного опробования различных вариантов ТП-ТМУ фасонных профилей для каждого конкретного стана и оборудования.

#### Список литературы

1. Разработка технологического процесса, изготовление, поставка, монтаж и освоение оборудования для термической правки – термомеханического упрочнения фасонных профилей на станах 400 и 560. Харьков: УкрГНТЦ «Энергосталь», 2010. 10 с.
2. Референция центра новых систем охлаждения и технологий термоупрочнения металлов. Екатеринбург: ВНИИМТ, 2010. 2 с.

#### Сведения об авторах

**Сычков Александр Борисович** – д-р техн. наук, проф. кафедры литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». E-mail: absyckov@mail.ru

**Малашкин Сергей Олегович** – аспирант каф. литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: malashckin.serzh@yandex.ru

---

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

---

**THE EQUIPMENT AND TECHNOLOGY FOR THERMOEDITING -  
THERMOMECHANICAL HARDENING OF THE SHAPED PROFILE**

**Sychkov Alexander B.** – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: ab-sychkov@mail.ru

**Malashkin Sergey O.** – Postgraduate student, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: malashkin.serzh@yandex.ru

***Abstract.** In article the analysis of the modern approach is provided in metallurgical practice to support of two qualitative characteristics of shaped rolling from low-carbon and low-alloyed steel grades – its linearity and mechanical properties. Thus different technical solutions proposed by some firms manufacturers of the energetic equipment and steel works are provided. Special attention is paid to combination of two thermal technological processes: to thermoediting of curved peals (TP) and thermomechanical hardening (TMU) of rolling in a production flow directly on the rolling mill or after deforming of metal before or on the refrigerator.*

*The TP-TMU methods are effective for editing and hardening of difficult symmetric and asymmetrical shaped profiles. The required level of mechanical properties, compact-grained structure is reached due to use of intensive water cooling from heat from rolling heating (process of hardening with self-tempering) by differentiated cooling of different parts of a profile in different time of process.*

**Keywords:** thermoediting, shaped rolling, thermomechanical hardening, compact-grained structure, self-tempering.

**References**

1. Process design, manufacture, supply, installation and development of equipment for thermal straightening - thermomechanical hardening shaped sections on mills 400 and 560. Kharkov UkrSSEC "Energostal", 2010. 10 p.
2. Reference center cooling systems and new technologies thermostrengthening metals. Yekaterinburg: VNIIMT, 2010, 2 p.



# РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

УДК 669.181

Панишев Н.В., Бигеев В.А., Черняев А.А., Пантелеев А.В.

## ПЕРЕРАБОТКА МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА С ПОЛУЧЕНИЕМ ГРАНУЛИРОВАННОГО ЧУГУНА И ИЗВЛЕЧЕНИЕМ ЦИНКА

**Аннотация.** Был разработан способ утилизации мелкозернистых цинксодержащих металлургических отходов путем прямого восстановления с использованием элементов технологии ПткЗ. Способ позволяет получать гранулированный чугун за 9–12 мин с попутным извлечением цинка.

**Ключевые слова:** прямое восстановление, цинксодержащие отходы, шламы, пыль.

На предприятиях с полным металлургическим циклом выход цинксодержащих отходов после сухой и мокрой очистки технологических газов в доменном и сталеплавильном производствах достигает 50 и более кг/т выплавляемой стали. Вовлечение в металлургический передел таких отходов без специальной предварительной подготовки ограничено из-за присутствия в них цинка. Участие в доменной плавке цинка нежелательно, поскольку его соединения вместе со щелочами оседают в виде настывшей на стенах доменной печи, искажая ее внутренний профиль, что, в свою очередь, нарушает ровный сход шихты, сопровождающийся потерей производительности печи [1]. Кроме того, растет удельный расход кокса на выплавку чугуна, поскольку на каждый килограмм цинка при восстановлении в доменной печи требуется не менее 10 кг кокса. По этой причине основная масса уловленной пыли и шлама депонируется соответственно в отвалах и шламохранилищах, загрязняя окружающую среду. Уместно отметить, что содержание цинка в металлургических отходах будет постоянно расти с увеличением доли в металлоломе автомобильного скрапа.

В России, являющейся экспортером железорудного сырья, не используются какие-либо технологии предварительной подготовки цинксодержащих отходов металлургического производства. В странах ЕС, Украине, Индии для этих целей используются вращающиеся трубчатые печи (процесс «Waelz»), отличающиеся высокими энергетическими затратами. В Японии, Китае, США для этих целей используют ПВП-печи с вращающимся подом (процесс «Fastmet»). Оба процесса обеспечивают удаление цинка на 98% и производят DRI – металлургическое сырье с низким содержанием железа, поскольку пустая порода остается в конечном продукте. По этой причине DRI используется в доменной плавке. Уловленная в рукавных фильтрах пыль, содержащая оксид

цинка, реализуется предприятиям, производящим цинк.

В ОАО «ММК» образуется более 0,5 млн т/г цинксодержащих мелкозернистых отходов (табл. 1).

Таблица 1

Образование отходов металлургического производства

Вид отхода	Выход		Содержание					
	тыс.т/г	%	Fe		Zn		C	
			тыс.т/г	%	тыс.т/г	%	тыс.т/г	%
Колошниковая пыль	220,245	43,9	98,23	43,0	0,385	10,26	43,17	63,14
Доменный шлак	183,947	36,7	89,77	39,3	2,263	60,28	25,20	36,86
Пыль ЭСПЦ	17,680	3,5	7,34	3,2	0,292	7,78	-	-
Конвертерный шлак	79,776	15,9	33,11	14,5	0,814	21,68	-	-
Всего	501,648	100	228,45	100	3,754	100	68,37	100

При этом колошниковая пыль полностью утилизируется в агломерационном производстве, аккумулируя содержание цинка в контуре аглодоменного передела.

Для снижения содержания цинка доменный шлак перерабатывается совместно с первородным железорудным сырьем на обогатительной фабрике. При этом выход концентрата составляет 56%, а содержание в нем железа и цинка – 64,5 и 0,57% соответственно. Следует отметить, что с хвостами безвозвратно теряется весь углерод, 30% железа и 70% цинка, или 25,2 тыс.т/г углерода (до 30 тыс.т/г кокса в пересчете на углерод), 27 тыс.т/г железа, из которого можно было бы выплавить 28,7 тыс. т/г чугуна и 1,6 тыс. т/г цинка.

Пыль электросталеплавильного производства (ЭСЩ) направляется на рекультивацию отработанных карьеров рудника. Безвозвратно теряется

7,34 тыс. т/г железа (можно было бы выплавить 7,8 тыс. т/г чугуна) и 0,292 тыс. т/г цинка.

Конвертерный шлак депонируется в гидрозоло-породоотвал. Соответственно теряется 33,11 тыс. т/г железа (35,2 тыс. т/г чугуна) и 0,814 тыс. т/г цинка.

Таким образом, из оборота выведено 67,45 тыс. т/г железа (эквивалентно 71,8 тыс.т/г чугуна), 2,7 тыс.т/г цинка и 68,37 тыс.т/г углерода.

В отличие от ОАО «ММК» на ведущих предприятиях России (ОАО «Северсталь» и ОАО НЛМК, обеспеченных на 100% собственным железорудным сырьем – ЖРС) утилизируется только колошниковая пыль. Остальные цинксодержащие отходы складированы либо реализуются на сторону, например, цементным заводам. Это объясняет высокое содержание цинка в доменной шихте ОАО «ММК» (до 520 г/т чугуна) в отличие от ОАО НЛМК (100 г/т чугуна) и ОАО «Северсталь» (180 г/т чугуна).

Низкая обеспеченность ОАО «ММК» собственным ЖРС вынуждает использовать доменные шламы в металлургическом переделе после неэффективной их подготовки.

В последнее время в мире продвигается передовая технология ITmk3, позволяющая получать прямую металл из железосодержащего сырья за 9–12 мин [2–4]. Аналогично процессу «Fastmet» технология реализуется в ПВП, но при температурах выше 1350°C. Металл и шлак крупностью 0–20 мм легко отделяются друг от друга на магнитном сепараторе. Сведений об использовании элементов технологии ITmk3 при переработке цинксодержащих отходов в промышленных масштабах в мире нет.

Целью исследований, проведенных в ОАО «ММК» и МГТУ [3, 4], являлось изучение:

- возможности получения металла прямым восстановлением из мелкозернистых металлургических отходов с попутным улавливанием цинка;
- влияния температуры и продолжительности термообработки отходов металлургического производства ОАО «ММК» на показатели восстановительного процесса.

Для проведения исследования были отобраны пробы отходов, химический состав которых приведен в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика отходов металлургического производства

Вид отхода	Содержание, %										
	Zn	Fe	C	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	S	ппп
Колошниковая пыль	0,17	44,6	19,6	10,1	52,6	8,26	1,97	3,22	1,29	0,300	21,6
Доменный шлак	1,23	48,8	13,7	10,6	58,0	6,70	1,88	3,21	1,31	0,410	15,8
Пыль ЭСПЦ	1,65	41,5	-	16,4	38,9	8,76	1,65	18,5	2,70	0,210	4,51
Конвертерный шлак	1,02	52,8	-	44,4	14,1	3,00	0,67	14,8	7,10	0,094	5,2

Расход углерода в опытах соответствовал стехиометрической потребности в нем на прямое восстановление железа и цинка из соответствующих оксидов (FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и ZnO). Источником углерода в шихте при его дефиците являлся концентрат ГОФ «Коксовая», характеристика которого представлена в табл. 3.

Таблица 3

Технический состав твердого топлива

Топливо	Содержание, %			
	A	V	S	C
Концентрат ГОФ «Коксовая»	9,7	19,5	0,4	83,7

Анализ проекций ликвидус четверной системы CaO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> показывает [4], что колошниковая пыль и доменный шлак с золой концентрата ГОФ «Коксовая» обеспечивают состав пустой породы в области пироксена с температурой плавления 1300°C (рис. 1). Поэтому шихтовку на основе этих материалов вели без каких-либо флюсов.

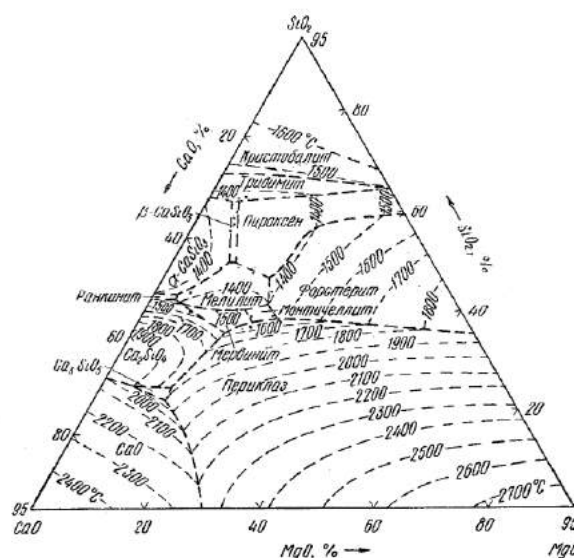


Рис.1. Проекция поверхности ликвидус четверной системы CaO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> при 5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [5]

Расчетным путем [6] было установлено, что температура плавления пустой породы пыли ЭСПЦ и конвертерного шлака превышает соответственно 2000 и 2300°C. Для снижения температуры плавления первичного шлака из этих отходов в шихту вводили кварцит.

Для выравнивания условий теплопередачи пробы отходов, смешанных с твердым топливом и кварцитом (при необходимости) истиранием, загружали с уплотнением в стеклоглеродистые стаканы слоем высотой 10 мм. Формирование проб вели с учетом выходов соответствующих отходов (см. табл.1). Параллельно вели опыты с окатышами. Для изготовления окатышей в качестве связующего использовали пшеничную муку. Перед обжигом окатыши высушивали в сушильном шкафу.

Термообработку проводили в камерной нагревательной печи «Nabertherm», позволяющей контролировать заданный темп нагрева и требуемую выдержку до 1800°C. Печь вместе с подложкой разогревали до заданной температуры, затем подложку вынимали из печи, располагали на ней исследовательские пробы в стаканах и вновь загружали в печь. Термообработку вели при температурах 1400–1500°C. Продолжительность термообработки составляла 8–10 мин. Изложенная методика позволяла эмитировать работу печи с подвижным подом.

После термообработки из материала выделяли и провешивали металл и шлак, из которых выделяли пробы для проведения химического анализа.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что цинксодержащие металлургические отходы пригодны для получения металла прямым восстановлением при незначительной корректировке состава шихты. Повышенное содержание углерода в колошниковой пыли позволяло вести процесс термообработки шихты без добавок твердого топлива не только в случае с этим отходом, но и в смеси с конвертерным шламом или с пылью ЭСПЦ в соответствии с их выходами. Характеристики продуктов термической обработки металлургических отходов приведены в табл. 4 и 5.

Таблица 4

Характеристика металла

Массовая доля, %				
C	S	Mn	Si	Fe
1,73 – 3,21	0,21 – 0,55	0,036 – 0,350	0,037 – 1,470	95,6 – 97,3

Таблица 5

Характеристика шлака

Массовая доля, %				
ZnO	S	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
0,010 – 0,012	0,10 – 0,43	18,2 – 40,8	3,11 – 11,2	34,1 – 48,5

Характер изменения содержания CO и CO<sub>2</sub> в процессе термообработки (рис. 2) позволяет судить о том, что восстановление оксидов Zn и Fe происходило в смешанном режиме с незначительной долей восстановительных процессов в присутствии жидкой фазы.

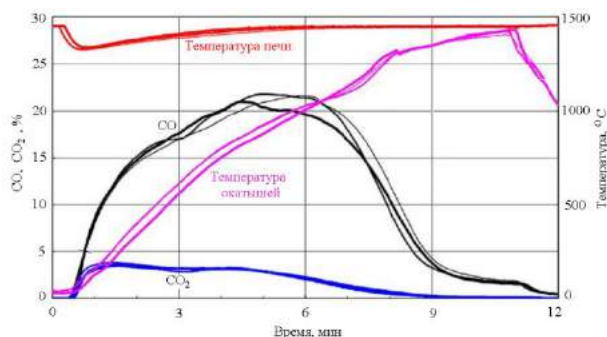
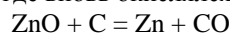


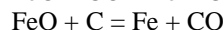
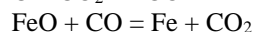
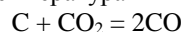
Рис. 2. Характерные кривые изменения содержания CO и CO<sub>2</sub> в отходящих газах, а также температуры в печи и рудно-топливных окатышей [4]

При этом существенное развитие получало прямое восстановление.

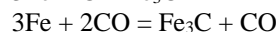
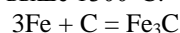
Восстановленный цинк при температурах выше 900°C практически полностью переходил в газовую фазу, где вновь окислялся до цинкита.



Оксиды железа восстанавливались углеродом при температурах выше 1100°C.



Формирование чугуна, плавление чугуна и шлака из пустой породы и шлака протекало при температурах выше 1300°C.



Содержание Zn в металле не превышало 0,001 %. Металл в виде гальки и шлак в форме лепешек легко отделялись друг от друга на магнитном сепараторе.

Анализ полученных результатов позволил определить расходы всех цинксодержащих отходов (при сложившемся соотношении их выходов в ОАО «ММК») на 1 т металла, т:

- колошниковая пыль 0,899;
- доменный шлак 0,752;
- пыль ЭСПЦ 0,072;
- конвертерный шлак 0,326;
- уголь (любой некоксующийся) 0,184.

Таким образом, в результате переработки всего объема образующихся отходов можно получить 245 тыс. т/г металла, 61,7 тыс. т/г шлака крупностью до 20 мм и более 4 тыс. т/г уловленной в процессе термообработки пыли, содержащей оксид цинка.

Металл может заменить часть лома (до 30%) в сталеплавильном переделе. Шлак, являясь по характеристикам схожим с доменным шлаком, может использоваться в строительной индустрии (при производстве цемента и бетона), а также в дорожном строительстве. Уловленная в процессе термообработки пыль является сырьем для получения цинка.

В мировой практике (в странах с дефицитом ЖРС и жестким экологическим законодательством) удаление цинка из металлургических отходов производят во вращающихся трубчатых печах (процесс «Waelz») и в печах с вращающимся подом – ПВП (процесс «Fastmet»). При температурах до 1350°C в присутствии углерода восстановленный цинк возгоняется в газовую фазу, где вновь окисляется до цинкита (ZnO), который затем улавливается в рукавных фильтрах. Конечными продуктами являются DRI (металлизированный продукт), включающий в себя всю исходную пустую породу, и улавливаемая пыль, содержащая оксид цинка. Вследствие низкого содержания железа, DRI используется в доменной плавке с повторным нагревом пустой породы с переводом с помощью флюсов в шлак.

Наиболее привлекательной является технология ITmk3, схожая по используемому агрегату (ПВП) с

технологией Fastmet. В отличие от последней температура в печи на 50–100°C выше и, кроме того, используются флюсы (при необходимости). Такие элементы технологии позволяют за то же самое время получать гранулированный чугун, легко отделяемый на магнитном сепараторе от шлака с попутным извлечением цинка с уловленной в рукавных фильтрах пылью. Таким образом, получаются три готовых товарных продукта: металл, как заменитель металлолома в сталеплавильном производстве, шлак крупностью 0–20 мм, как сырье в дорожном строительстве (в т.ч. для подсыпки дорог в зимнее время), производстве цемента и бетона, а также цинксодержащая пыль, как сырье для заводов, производящих цинк. Можно отметить и другие преимущества по сравнению с технологиями, производящими DRI из отходов:

- пустая порода нагревается один раз;
- устраняются затраты на обслуживание огненно-жидкого шлака, полученного из пустой породы.

Доказана принципиальная возможность получения металла напрямую из мелкозернистых Zn-содержащих отходов металлургического производства по технологии ITmk3 с попутным извлечением цинка.

Расчетным путем найден оптимальный состав шихт, обеспечивающий температуру плавления первичного шлака в пределах 1300–1400°C, а также оптимальное содержание углерода на прямое восстановление железа и цинка.

Но самое главное – новая технология (без участия доменного, коксохимического и агломерационного производств аналогичной мощности) значительно снижает нагрузку на окружающую среду. Так, выбросы углекислого газа, двуокиси серы, оксидов азота и других вредных веществ снижаются на 30% по

сравнению с традиционными металлургическими технологиями.

Полученные в ходе исследования результаты являются исходными технологическими параметрами для проектирования агрегата по переработке мелкозернистых цинксодержащих отходов металлургического производства.

#### Список литературы

1. Металлизация доменных шламов / Никифоров Б.А., Бигеев В.А., Сибатулин С.К. и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2005. №3. С. 23–25.
2. Kobayashi I., Tanigaki Y. and Uragami A. A new process to produce iron directly from fine ore and coal. *Iron and Steelmaker*, 2001, no. 9, pp. 19–22.
3. Panishev N.V., Dubrovsky B.A., Starikov A.I., Redin E.V. and Knyazev E.V. Direct reduction of Ti-V magnetite via ITmk3 technology. Proceedings of the 4th International Symposium on High-Temperature Metallurgical Processing, San Antonio, Texas, USA, March 3–7, 2013, pp. 45 – 48.
4. Металлизация шлатовых железняков Бакальского месторождения с получением гранулированного чугуна / Дубровский Б.А., Шильяев П.В., Редин Е.В., Панишев Н.В., Князев Э.В., Пильщиков И.В., Церковницкий Н.С. // Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции «Энергосберегающие технологии в промышленности. Печные агрегаты. Экология», посвященной 80-летию ММК. Москва, 15 – 20 октября, 2012 г. М., 2012. С. 178–182.
5. Свойства жидких доменных шлаков / Воскобойников В.Г., Дунаев Н.Е., Михалевич А.Г. и др. М.: Металлургия, 1975. 184 с.
6. Бигеев В.А., Пантелеев А.В., Черняев А.А. Математическое моделирование твердофазного восстановления пылей и шламов // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах: междунар. сб. науч. трудов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. Ч. II. С. 151–155.

#### Сведения об авторах

**Панишев Николай Васильевич** – канд. техн. наук, доц. кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Бигеев Вахит Абдрашитович** – д-р техн. наук, проф., директор института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: v.bigeev11@yandex.ru.

**Пантелеев Антон Владимирович** – ст. преп. кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: anpanteleev2010@mail.ru

**Черняев Александр Александрович** – аспирант кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: alexch\_study@mail.ru

---

#### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

---

#### FINE-GRAINED METALLURGICAL WASTES RECYCLING FOR IRON PELLETS PRODUCTION AND ZINC EXTRACTION

**Panishev Nicolay Vasilevich** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University.

**Bigeev Vahit Abdrashitovich** – D. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chemico-Metallurgical Faculty, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: [v.bigeev11@yandex.ru](mailto:v.bigeev11@yandex.ru).



**Chernyaev Alexander Alexandrovich** – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: [alexch\\_study@mail.ru](mailto:alexch_study@mail.ru)

**Panteleev Anton Vladimirovich** – Assistant Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: [anpanteleev2010@mail.ru](mailto:anpanteleev2010@mail.ru)

**Abstract.** A new ITmk3-based fine-grained zinc-bearing metallurgical wastes recycling method of direct reduction was developed. The method allows producing iron pellets and zinc extracting within 9–12 minutes.

**Keywords:** direct reduction, zinc-bearing wastes, sludge, dust.

#### References

1. Nikiforov B.A., Bigeev V.A., Sibagatulin S.K. et al. Metallization of blast furnace sludge. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I.Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2005, no. 3, pp. 23–25.
2. Kobayashi I., Tanigaki Y. and Uragami A. A new process to produce iron directly from fine ore and coal. *Iron and Steelmaker*, 2001, no. 9, pp. 19–22.
3. Panishev N.V., Dubrovsky B.A., Starikov A.I., Redin E.V. and Knyazev E.V. Direct reduction of Ti-V magnetite via ITmk3 technology. Proceedings of the 4th International Symposium on High-Temperature Metallurgical Processing, San Antonio, Texas, USA, March 3 – 7, 2013, pp. 45–48.
4. Dubrovsky B.A., Shiliaev P.V., Redin E.V. et al. Metallization of siderites from Bakal ore deposits and production of iron pellets *Sbornik trudov VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Energoberegayushchie tekhnologii v promyshlennosti. Pechnyie agregaty. Ekologiya», posvyaschennoy 80-letiyu MMK. Moskva, 15 – 20 oktyabrya, 2012 g* [Collected papers of VI International theoretical and practical conference "Energy-efficient technologies in industry. Furnaces. Ecology" dedicated to the 80th anniversary of MMK]. Moscow, 2012, pp. 178–182.
5. Voskoboinikov V.G., Dunaev N.E., Mihalevich A.G. et al. *Svoystva zhidkikh domennykh shlakov* [Characteristics of liquid blast furnace slags]. Moscow: Metallurgiya, 1975, 184 p.
6. Bigeev V.A., Panteleev A.V., Chernyaev A.A. *Mathematical modelling of solid-phase disoxidation of dust and sludge Matematischeskoe i programnoe obespechenie sistem v promyshlennoy i sotsialnoy sferah*. [Mathematical models and software for industry and social sphere systems]. Magnitogorsk: Publishing house of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2011, vol. II, pp. 151–155.



УДК 620.193

Коляда Л.Г., Кремнева А.В.

## ИЗУЧЕНИЕ АНТИКОРРОЗИОННЫХ СВОЙСТВ КОМБИНИРОВАННЫХ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ

**Аннотация.** В работе изучены антикоррозионные свойства комбинированных упаковочных материалов на основе бумаги фирмы Fislage для защиты холоднокатаной и оцинкованной стали. Одним из основных факторов, влияющих на атмосферную коррозию, является влажность. Установлено, что наиболее неблагоприятный температурный диапазон, с точки зрения эксплуатации металлопродукции, – это интервал 30–40°C, когда наблюдается рост паропрооницаемости упаковочных материалов и возрастает доступ паров воды к поверхности металла. Упаковочные бумаги, содержащие летучие ингибиторы коррозии, оказывают защитное действие в условиях повышенной относительной влажности: показатель коррозии остаётся примерно на одном уровне, не превышая 5,0 г/м<sup>2</sup>.

**Ключевые слова:** коррозия, влажность, летучий ингибитор коррозии, комбинированный упаковочный материал, холоднокатаная сталь, оцинкованная сталь, коррозия, показатель коррозии.

В настоящее время, несмотря на широкое развитие промышленности синтетических веществ, металлы по-прежнему остаются основным конструкционным материалом. При эксплуатации металлических изделий, длительном хранении, транспортировании через различные климатические зоны они подвергаются атмосферной коррозии. По оценкам экспертов, коррозия за год уничтожает от 25 до 30% годового объёма производства чёрных металлов. Это указывает на исключительную важность проблемы борьбы с коррозией металлов, а следовательно, на большую значимость поиска оптимальных упаковочных материалов для антикоррозионной защиты металлов.

Прогрессивным направлением в борьбе с коррозией является разработка упаковочных материалов, содержащих ингибиторы коррозии [1]. В последние годы эта проблема встала особенно остро в связи с расширением экспорта металлопродукции. В ряде случаев транспортирование продукции происходит в открытых полувагонах или морским путём через районы с влажным тропическим климатом.

Идеальная упаковка для металлопродукции должна полностью исключать доступ к поверхности металлоизделия паров воды и агрессивных газов, вызывающих коррозию, а также упаковка должна обладать необходимыми прочностными свойствами, га-

рантирующими сохранность её самой и упакованного в нее металлоизделия от механического повреждения. Упаковка должна обеспечивать противодействие различным нагрузкам при логистических операциях и перевозке на значительные расстояния.

Одним из современных средств защиты металлов от атмосферной коррозии являются упаковочные комбинированные материалы – крепированная бумага, ламинированная полиэтиленом [2]. Бумага-основа является носителем ингибитора и поглотителем конденсационной влаги. Полимерное покрытие выполняет роль барьера для атмосферных загрязнителей и влаги.

Цель исследований заключалась в изучении защитных свойств упаковочных комбинированных материалов в условиях атмосферной коррозии. Объекты исследования – упаковочные бумаги ламинированные полиэтиленом, армированные полипропиленовой сеткой и содержащие летучие ингибиторы коррозии (см. таблицу).

Объекты исследования

Название бумаги	Ингибитор	Масса ингибитора, г/м <sup>2</sup>	Масса бумаги, г/м <sup>2</sup>
Fislage	Летучий "N"	9,5	159,0
Fislage	Летучий "Z"	12,7	170,0

Упаковочная бумага марки Fislage с ингибитором "N" предназначена для упаковки холоднокатаной стали, с ингибитором "Z" – для упаковки оцинкованной стали.

Наиболее важным фактором, определяющим скорость атмосферной коррозии, является влажность атмосферы. От относительной влажности зависит количество воды, которое сконденсируется при охлаждении на поверхности металла. Так, толщина водной пленки, образующейся на поверхности железа при относительной влажности воздуха 55%, составляет 15 молекулярных слоев, а при относительной влажности 100% – 90–100 слоев [1]. Крепированная бумажная основа упаковочного материала должна впитывать конденсационную влагу и тем самым предотвращать развитие коррозионного процесса.

Барьерные свойства упаковочных материалов по отношению к парам воды можно оценить через паропроницаемость – перенос водяных паров через упаковочный материал. Движущей силой этого процесса является разность давлений или концентраций. В комбинированном упаковочном материале реализуются два механизма процесса паропроницаемости. В полимерном материале проницаемость обусловлена диффузионными процессами, которые описываются первым законом Фика. Молекулярная диффузия всегда протекает в направлении уменьшения концентрации вещества и зависит от свойств диффундирующего вещества, свойств материала, через который оно проникает, температуры и давления [1]. Прохождение молекул воды через бумажную основу носит более

сложный характер, который включает диффузионный механизм переноса паров и механизм ламинарного потока, подчиняющиеся закону Пуазейля [3]. Температурная зависимость паропроницаемости упаковочных бумаг, определенной по ГОСТ 9.507-88, представлена на рис. 1.

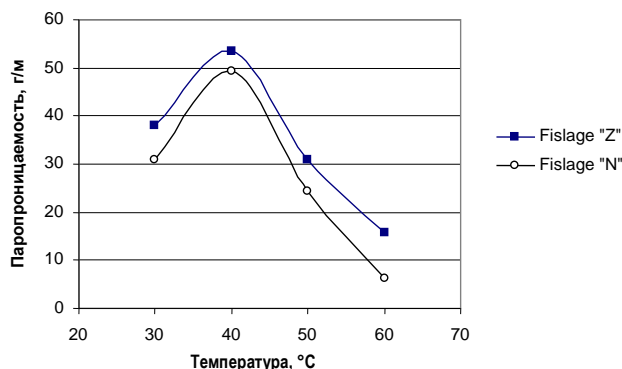


Рис. 1. Температурная зависимость паропроницаемости

Первые адсорбированные молекулы воды способны расширить зазоры между макромолекулами целлюлозы, не имеющими химических связей. Между молекулами воды и гидроксогруппами целлюлозы происходит образование водородных связей, что способствует набуханию целлюлозы, в результате чего паропроницаемость растет. При дальнейшем повышении температуры происходит разрушение водородных связей, что сопровождается ростом кинетической подвижности макромолекул целлюлозы, их сближением и уплотнением – в результате паропроницаемость снижается [3]. Таким образом, наиболее неблагоприятным температурным диапазоном, с точки зрения эксплуатации, является интервал 30–40°C, когда наблюдается рост паропроницаемости и возрастает доступ паров воды к поверхности металла.

Основным преимуществом упаковочных материалов на бумажной основе является способность бумаги впитывать влагу, конденсирующуюся внутри упаковки при перепаде температур. Для оценки впитывающей способности образцы упаковочных бумаг экспонировали в условиях различной относительной влажности, затем гравиметрически определяли изменение массы образцов. Зависимость массы упаковочных бумаг от относительной влажности воздуха представлена на рис. 2.

При невысоких значениях относительной влажности пары воды сорбируются, образуя с гидроксогруппами целлюлозы водородные связи. При относительной влажности 75–85% достигается определенная степень насыщения, что сопровождается расстекловыванием структуры и восстановлением структуры целлюлозных волокон с тонкой системой пор и капилляров [3]. В этих порах и капиллярах происходит конденсация паров воды.

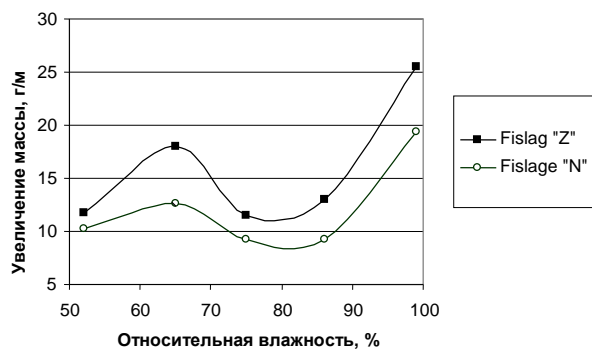


Рис. 2. Зависимость массы бумаг от относительной влажности

Известно [1], что относительная влажность 75% – критическая влажность, при которой скорость испарения и скорость конденсации влаги одинаковы. Основное увеличение водопоглощения происходит в области относительной влажности выше 90% – идет процесс капиллярной конденсации.

В условиях различной относительной влажности была проведена оценка защитного действия упаковочных бумаг от атмосферной коррозии холоднокатаной и оцинкованной стали. Металлические пластины, упакованные в исследуемые бумаги, экспонировали в условиях различной относительной влажности в течение 30 суток. Металлические образцы снимали с экспозиции, взвешивали, оценивали потерю массы и рассчитывали показатель коррозии  $K$  (г/м<sup>2</sup>) по уравнению [4]

$$K = \frac{P_1 - P_2}{S \cdot \tau},$$

где  $P_1$  – начальная масса образца, г;  $P_2$  – масса образца после испытаний, г;  $S$  – площадь образца, м<sup>2</sup>;  $\tau$  – время испытаний, ч.

Показатель коррозии для пластин, упакованных в бумаги фирмы Fislage, остаётся примерно на одном уровне (менее 5 г/м<sup>2</sup>) во всём диапазоне значений относительной влажности (рис. 3), что обусловлено защитным действием летучего ингибитора коррозии [6]. Для пластин, упакованных в бумагу без летучего ингибитора коррозии, минимальные значения показателя коррозии соответствуют низким значениям относительной влажности (ниже 70%), при которых наблюдается высокое влагопоглощение. Максимальная коррозия соответствует относительной влажности 75–80%.

Можно предположить, что в результате низкой впитывающей способности бумаг в области относительной влажности 75–85% на поверхности металлической пластины образуется тонкая плёнка воды, что способствует возникновению и развитию коррозионного процесса.

Сведения об авторах

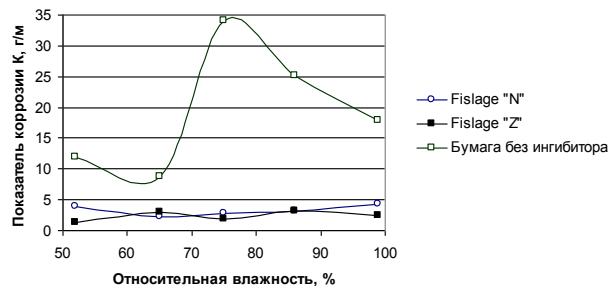


Рис. 3. Зависимость показателя коррозии от относительной влажности

Согласно [5] продуктами атмосферной коррозии на холоднокатаной стали являются  $FeOOH$ ,  $Fe_2O_3$  и  $Fe_3O_4$ , на оцинкованной стали –  $2ZnCO_3 \cdot 3Zn(OH)_2$  и  $ZnCO_3 \cdot 3Zn(OH)_2$ . После экспозиции масса пластин из холоднокатаной стали возросла. Привес массы металла соответствует массе образовавшихся продуктов коррозии, которые имеют хорошую адгезию к металлу.

Масса пластин из оцинкованной стали, в основном, уменьшается, что свидетельствует о потере продуктов коррозии в результате их плохого сцепления с поверхностью металла и частичного растворения.

Таким образом, наиболее неблагоприятным температурным диапазоном, с точки зрения эксплуатации металлопродукции, является интервал 30–40°C, когда наблюдается рост паропроницаемости и возрастает доступ паров воды к поверхности металла.

Упаковочные бумаги, содержащие летучие ингибиторы коррозии, оказывают защитное действие в условиях повышенной относительной влажности: показатель коррозии остаётся примерно на одном уровне, не превышая 5,0 г/м<sup>2</sup>.

#### Список литературы

1. Розенфельд И.Л., Персианцева В.П. Ингибиторы атмосферной коррозии. М.: Наука, 1985. 280 с.
2. Рогова А.Н., Разумков А.В. Современные способы защиты металлоизделий от коррозии многослойными комбинированными материалами // Тара и упаковка. 2002. №6. С. 44–47.
3. Папков С.П., Файнберг Э.З. Взаимодействие целлюлозы и целлюлозных материалов с водой. М.: Химия, 1976. 232 с.
4. Панченко Ю.М., Стрекалов П.В. О расчете средней коррозионной стойкости и общего утончения металлических пластин и проволоки при определении коррозионности атмосферы // Защита металлов. 2002. Т. 38. №5. С. 538–543.
5. Панченко Ю.М., Стрекалов П.В. Образование, удержание и сброс продуктов атмосферной коррозии металлов. 2. Кинетика коррозии и сброса // Защита металлов. 2005. Т. 41. №6. С. 602–613.
6. Коляда Л.Г., Салихова Л.Р., Катюшенко О.М. Изучение защитных свойств комбинированных упаковочных материалов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. №1 (17). С. 110–113.

**Коляда Людмила Григорьевна** – канд. техн. наук, доц. кафедры химии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519)29-85-33. E-mail: chem@magtu.ru

**Кремнева Анастасия Владиславовна** – ст. преп. кафедры химии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519)29-85-33. E-mail: a-kremneva@mail.ru

---

---

*INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH*

---

---

**STUDYING OF ANTICORROSIVE PROPERTIES OF THE COMBINED PACKING MATERIALS FOR STEEL PRODUCTS**

**Kolyada Ludmila** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: 8(3519)29-85-33. E-mail: [chem@magtu.ru](mailto:chem@magtu.ru)

**Kremneva Anastasia** – Assistant Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: 8(3519)29-85-33. E-mail: [a-kremneva@mail.ru](mailto:a-kremneva@mail.ru)

**Abstract.** *Anticorrosive properties of the combined packing materials on the basis of paper of Fislage firm for protection of cold rolled and galvanized steel are studied. One of the major factors influencing atmospheric corrosion is moisture. It is established that the most adverse temperature range is the interval (30-40) °C because growth of vapor permeability of packing materials is observed and access of vapors of water to a metal surface increases. Containing flying corrosion inhibitors packing papers have protective effect in the conditions of the increased relative moisture. The rate of corrosion remains approximately at one level, without exceeding 5,0 g/m<sup>2</sup>.*

**Keywords:** *corrosion, moisture, flying corrosion inhibitor, combined packing material, cold rolled steel, galvanized steel, rate of corrosion.*

**References**

1. Rozenfeld I.L., Persianceva V.P. *Ingibitoryi atmosfery korrozii* [Inhibitors of atmospheric corrosion]. Moscow, 1985, 280 p.
2. Rogova A. N., Razumkov A.V. Modern methods of metal protecting from corrosion with a help of multilayer combined materials. *Tara i upakovka* [Packaging]. 2002, no 6, pp. 44 – 47.
3. Papkov S.P., Fainberg E.Z. *Vzaimodeystvie tsellyulozy i tsellyuloznykh materialov s vodoy* [Interaction of cellulose and cellulose materials with water]. Moscow, 1976, 232 p.
4. Panchenko U.M., Strekalov P.V. About calculation of average corrosion resistance and the general thinning of metal plates and a wire when determining atmospheric corrosion. *Zashita metallov* [Protection of metals]. 2002, vol.38, no 5, pp. 538 – 543.
5. Panchenko U.M., Strekalov P.V., Formation, deduction and dumping of products of atmospheric corrosion of metals. 2. Kinetics of corrosion and dumping. *Zashita metallov* [Protection of metals]. 2005, vol.41, no 6, pp. 602 – 613.
6. Kolyada L.G., Salihova L.R., Katushenko O.M. Studying of protective properties of the combined packing materials. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2007, no.1 (17), pp. 110 – 113.



# ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 622.002.8

Свиридова Т.В., Мурзина Е.А.

## К ВОПРОСУ ОБРАЗОВАНИЯ И ОБРАЩЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

*Аннотация.* В статье рассмотрена современная экологическая ситуация в Челябинской области. Проанализированы вопросы образования и размещения промышленных отходов в регионе. Подробно рассмотрены основные принципы экологической политики и мероприятия по охране окружающей среды в области размещения и утилизации отходов крупнейших предприятий.

*Ключевые слова:* промышленные отходы, утилизация отходов, полигоны, карьер, отвалы пустых пород, защита окружающей среды, недр.

В Челябинской области земные недра черпаются уже два с половиной века. Превращение Южного Урала в гигантский промышленный регион связано в первую очередь с его особым географическим положением и богатейшими запасами полезных ископаемых.

Период освоения и эксплуатации природных ресурсов не сопровождался охраной и защитой окружающей среды от загрязнения. Промышленные выбросы в воздух, неочищенные стоки загрязненных вод в реки и водоемы, уничтожение и засыпка плодородных земель карьерами, отвалами, истребление лесных ресурсов – все это привело к неблагоприятной экологической обстановке в регионе.

Даже в условиях спада производства уровень загрязнения природной среды в области оставался одним из самых высоких в России. По суммарному количеству выбросов вредных веществ в атмосферу и сбросов загрязненных вод Челябинская область является одним из самых неблагоприятных регионов страны. Наиболее загрязненными городами области являются Карабаш, Челябинск и Магнитогорск.

Пренебрежение основными требованиями и нормами рационального природопользования привело к неблагоприятной экологической обстановке в ряде районов, находящихся в непосредственной близости к крупным промышленным предприятиям.

Загрязненность Челябинской области тяжелыми металлами отмечается на площади порядка 30 тыс м<sup>2</sup>. Особенно обширны загрязнения вокруг Челябинска и Магнитогорска [1].

На территории области действует около 90 горнорудных предприятий, 160 карьеров, 20 шахт, карьеры и отвалы. В окрестностях городов Сатка, Верхний Уфалей, Копейск, Коркино, Еманжелинск, Пласт находится большое количество карьеров. Около города Бакал безжизненный ландшафт создают 10 карьеров глубиной до 200 м и многочисленные отвалы высотой до 50–70 м [1].

Деятельность предприятий черной и цветной металлургии, горнодобывающей и угольной промышленности приводит к промышленной эрозии почв. В Челябинском промузле отходами 9 перерабатывающих предприятий и ТЭЦ занято 984,5 га земли. В городе ежегодно складывается более 60 млн т отходов с повышенным содержанием хрома, меди, свинца, мышьяка, бария и других токсичных соединений [1].

По данным Правительства Челябинской области, в 2013 году образовано около 106 млн т отходов производства. Использовано и обезврежено около 45 млн т. В сравнении с 2012 годом количество использованных и обезвреженных отходов снизилось почти в 2 раза [2].

Основными источниками образования промышленных отходов в Челябинской области являются следующие предприятия:

- ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»;
- ЗАО «Михеевский ГОК»;
- ОАО «Учалинский ГОК»;
- ОАО «Южуралзолото Группа Компаний»;
- ОАО «Еткульзолото»;
- ОАО «Челябинский металлургический комбинат».

Объем образования отходов данными предприятиями за 2012 и 2013 годы представлен на рис. 1 [2].

По данным органов местного самоуправления, по состоянию на начало 2014 года на территории Челябинской области находятся 202 места размещения отходов производства [2].

В 2013 году количество мест размещения промышленных отходов увеличилось на 5 единиц по сравнению с 2012 годом [2].

По состоянию на начало 2014 г. общая площадь земель, занятых промышленными отходами, составляет 10 521,06 га, что на 390,5 га больше аналогичного показателя по состоянию на начало 2013 г. [2].

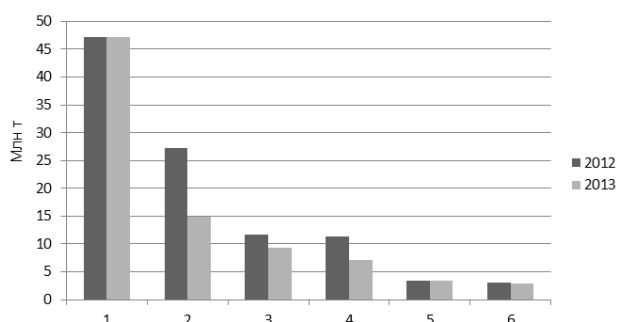


Рис. 1. Объем образования отходов промышленными предприятиями за 2012 и 2013 годы:

- 1 – ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»;
- 2 – ЗАО «Михеевский ГОК»; 3 – ОАО «Учалинский ГОК»;
- 4 – ОАО «Южуралзолото Групп Компаний»;
- 5 – ОАО «Еткульзолото»; 6 – ОАО «Челябинский металлургический комбинат»

На начало 2014 года на территории Челябинской области находится 26 бесхозных объектов и мест размещения промышленных отходов, занимающих 1 163,3 га. Бесхозные места и объекты размещения отходов производства имеются в Карабашском, Копейском городских округах, в Ашинском, Коркинском, Саткинском муниципальных районах [2].

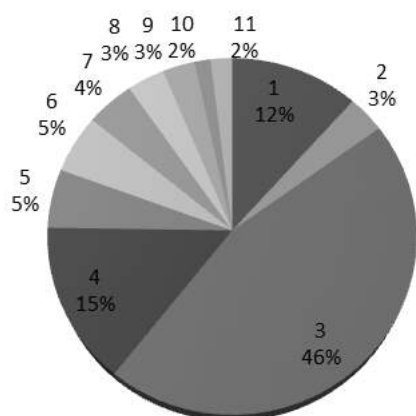


Рис. 2. Объекты размещения отходов производства на территории Челябинской области на начало 2014 года:

- 1 – шламонакопители, шламоотстойники и шламохранилища; 2 – шлакоотвалы; 3 – отвалы пустых пород; 4 – навозо- и пометохранилища; 5 – хвостохранилища; 6 – полигоны; 7 – терриконы; 8 – карьеры; 9 – золо- и золошлаковые отвалы; 10 – гидроотвалы; 11 – отстойники промышленных вод

На территории Челябинской области продолжается работа по организации селективного сбора и утилизации отходов производства и потребления.

Часть металлургического шлака ЗАО «Карабашмедь» перерабатывается в абразивный порошок предприятиями ОАО «Уралгрит» и ООО «Карабашский абразивный завод». В ЗАО «Карабашмедь» шлаки металлургического производства перерабатываются в строительный песок в объеме до 100 тыс. т [2].

Каждое крупное предприятие в Челябинской области имеет свою стратегию по снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Так, стратегией ОАО «ММК» по снижению негативного воздействия на окружающую среду и население в зоне влияния своей производственной деятельности является переход на современные технологические процессы, оснащенные природоохранными сооружениями на базе наилучших имеющихся (доступных) технологий, с одновременным выводом из эксплуатации устаревших агрегатов. Экологическая программа ОАО «ММК» на 2012 год предусматривала выполнение 37 технических мероприятий, направленных на сокращение и предотвращение негативного воздействия на окружающую среду, в том числе 11 мероприятий по утилизации промышленных отходов, рекультивации земель и благоустройству территории. Фактические затраты на реализацию Экологической программы ОАО «ММК» в 2012 году составили 1152,8 млн руб. (в том числе на капитальное строительство – 1020 млн руб.), из них 15,4 млн руб. – на реализацию мероприятий по утилизации промышленных отходов и рекультивацию (в том числе на капитальное строительство – 9 млн руб.) [3].

В настоящее время в ОАО «ММК» реализуется проект по использованию отходов горного производства, а именно отработанных карьеров, для размещения промышленных отходов металлургического передела [4, 5].

Долгосрочная стратегия снижения воздействия на окружающую среду холдинга «Русская медная компания» построена на проведении мероприятий, поддерживающих экологический баланс в регионе. Главной инновационной составляющей проекта на Михеевском ГОКе стал особый метод подготовки шихты. Бедность руд Михеевского месторождения и наличие большого количества окисленных руд в общей горной массе обуславливают особую технологию шихтовки и переработки с целью максимального извлечения меди из руды. Технология флотации при обогащении руды, использующей на 100% замкнутый водооборотный цикл, сушка медного концентрата на пресс-фильтрах, снижение транспортных издержек на Михеевском ГОКе, а также газовая и водная очистительные системы, используемые на «Карабашмеди», – только несколько примеров современных технологий, применяемых в рамках экологической стратегии холдинга [6].

В ОАО «Учалинский ГОК» ведется исследование и разработка технологии складирования хвостов с 2015 года в чашу Учалинского карьера, либо на новых территориях, с разработкой регламента для выполнения проекта объекта складирования, а также разработка технологического регламента кучного выщелачивания растворами на основе шахтных и подотваль-

ных вод хвостов и пиритного концентрата с целью извлечения полезных компонентов и снижения экологической нагрузки. Результаты исследований позволят обеспечить более эффективное и безопасное ведение работ по добыче и переработке руд, рациональное использование сырьевых ресурсов, снижение энергетических и материальных затрат на выпуск продукции [7].

ОАО «ЮГК» разработана и ведется экологическая политика, одной из основных целей которой является внедрение передовых разработок и технологий с целью повышения уровня полезного использования сырьевых ресурсов при максимально возможном выпуске продукции. ОАО «ЮГК» в последние годы проделана большая работа по сокращению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу – проведена реконструкция Кочкарской фабрики, установлено новое технологическое оборудование, оснащенное системами очистки газа. Березняковская ЗИФ построена по проекту с использованием новых экологических технологий. Строящаяся фабрика на месторождении Светлинское также разработана с использованием новых современных технологий переработки золотосодержащей руды. Строительство фабрик на месторождениях позволяет снизить не только затраты на перевозку руды, но и исключить выбросы при перевозке материалов из одного района в другой. Одной из главных целей экологической политики ОАО «ЮГК» является работа предприятия в системе замкнутого водооборота, что позволяет значительно экономить объем потребления и сброса воды. В 2012 году компания снизила сброс дренажных вод в водные объекты на 70%. Количество выбросов загрязняющих веществ в 2013 году уменьшилось на 6,25% по сравнению с предыдущими годами. Количество размещаемых отходов уменьшилось на 23% за счет вторичного использования в производственных целях [8].

На Челябинском металлургическом комбинате масса валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу за последние несколько лет снижена почти на 30% за счет модернизации газоочистного оборудования.

В 2008 году образовано предприятие «Мечел-Материалы», основная задача которого – вторичная переработка отходов металлургического производства. Его деятельность позволяет существенно снизить объемы шлаков, хранящихся на Челябинском и Белорецком металлургических комбинатах,

а также на других предприятиях Группы «Мечел». Параллельно с переработкой отвалов решается задача рекультивации объектов размещения крупнотоннажных отходов [9].

Таким образом, решение проблемы утилизации и размещения отходов является одним из приоритетных на предприятиях Челябинской области. Для переработки и утилизации промышленных отходов горных и металлургических предприятий необходима разработка и внедрение мероприятий по комплексному использованию недр и ресурсов, создание малоотходных и безотходных технологий добычи и производства. Именно планомерное движение в этом направлении позволит снизить негативное воздействие промышленных предприятий на окружающую среду и улучшить экологическую ситуацию в Челябинской области.

#### Список литературы

1. Загрязнение среды (экология) Челябинской области [Электронный ресурс]: ГЕО портал Южноуралья. URL:<http://www.uralgeo.net> (дата обращения: 6.10.2014).
2. Доклады об экологической ситуации в Челябинской области за 2012 и 2013 годы [Электронный ресурс]: Министерство по радиационной и экологической безопасности Челябинской области. URL:<http://minesco174.ru> (дата обращения: 6.10.2014).
3. Природоохранная деятельность [Электронный ресурс]: Сайт ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». URL:<http://mmk.ru> (дата обращения: 6.10.2014).
4. Природоохранная деятельность металлургических предприятий / Свиридова Т.В. Шайкина С.У., Кутляхметова З.М., Пелагеина А.А. // 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. 146-151.
5. Некерова Т.В. Использование отработанных карьеров для размещения промышленных отходов (статья) // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й межрегиональной научно-технической конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. Т.1. С. 156-159.
6. Экологические проекты [Электронный ресурс]: Сайт Группы «Русская медная компания». URL:<http://rnc-group.ru> (дата обращения: 6.10.2014).
7. Науки и технологии [Электронный ресурс]: Сайт ОАО «Учалинский ГОК». URL:<http://www.ugok.ru> (дата обращения: 6.10.2014).
8. Защита окружающей среды [Электронный ресурс]: Сайт ОАО «Южуралзолото Группы Компаний» URL:<http://www.ugold.ru> (дата обращения: 6.10.2014).
9. Охрана окружающей среды [Электронный ресурс]: Сайт ОАО «Мечел». URL:<http://www.mechel.ru> (дата обращения: 6.10.2014).

#### Сведения об авторах

**Свиридова Татьяна Валерьевна** – канд. техн. наук, ст. преп. кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519)29-84-62. E-mail: ntv\_3110@mail.ru.

**Мурзина Елизавета** – студентка, факультет стандартизации, химии и биотехнологии, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

## INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

## TO THE QUESTION OF RECEIVING AND THE TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTE ON THE TERRITORY OF THE CHELYABINSK REGION

**Sviridova Tatyana** – Ph.D. (Eng.), Assistant Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University.

**Myrzina Elizaveta** – Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University.

**Abstract.** *In the article considers the current ecological situation in Chelyabinsk region. Analyzed the receiving and placement of industrial waste in the region. Discussed in detail the main principles of environmental policy and measures on environmental protection in the field of disposal and utilization of waste of the largest manufacture of the region.*

**Keywords:** *industrial waste, waste disposal, landfills, open pit mining, waste rock dumps, environmental protection, mineral resources.*

## References

1. Pollution of the environment (ecology) Chelyabinsk region [Electronic resource]: GEO portal South Ural. URL:<http://www.uralgeo.net> (date of access: 6.10.2014).
2. Reports about the ecological situation in Chelyabinsk region for 2012 and 2013 [Electronic resource]: the Ministry of radiation and ecological safety of the Chelyabinsk region. URL:<http://mineco174.ru> (date of access: 6.10.2014).
3. Environmental activities [Electronic resource]: the Website of "Magnitogorsk iron and steel works". URL:<http://mmk.ru> (date of access: 6.10.2014).
4. Sviridova T.V. Shaihina S.U., Kutlyahmetova S.M., Pelageina A.A. Environmental activities metallurgical enterprises. Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva [Theory and technology of metallurgical production]. Magnitogorsk, 2012, pp. 146-151.
5. Nekeerova T.V. Using waste pits for disposal of industrial. Aktualnue problemu sovremennoy nauki, tehniki i obrazovania: materialy 70 megreionalnoy nauchno-texnicheskoy konferencii [Actual problems of modern science, technics and education]. Magnitogorsk, 2012, no.1, pp. 156-159.
6. Environmental projects [Electronic resource]: the Website of "Russian copper company". URL:<http://rmk-group.ru> (date of access: 6.10.2014).
7. Science and technology [Electronic resource]: the Website of "UGOK". URL:<http://www.ugok.ru> (date of access: 6.10.2014).
8. Environmental protection [Electronic resource]: the Website of "Yuzhuralzoloto Group of Companies" URL:<http://www.ugold.ru> (date of access: 6.10.2014).
9. Environmental protection [Electronic resource]: the Website of "Mechel". URL: <http://www.mechel.ru> (date of access: 6.10.2014).



УДК [620.197.3:620.191.8]:621.365

Понурко И.В., Костина З.И., Крылова С.А., Шабалин Е.И.

## АНТИНАКИПНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИИ «АСТРА»

**Аннотация.** *С целью защиты водонагревательных приборов и систем, заполняемых горячей и холодной водой, от коррозии и солеотложений (накипи) и увеличения срока их службы авторами разработаны и запатентованы составы ингибитора «Композиция фосфатная». Композиция имеет ограниченно-постоянную самопроизвольную растворимость в воде, определяемую соотношением фосфатов щелочных и щелочноземельных металлов. Растворимость композиции планируется в зависимости от свойств обрабатываемой воды, ее расхода и температуры для поддержания концентрации в необходимых пределах без использования дозирующих устройств.*

*Для реализации результатов интеллектуальной деятельности на базе ФГБОУ ВПО «МГТУ» создано малое инновационное предприятие ООО «КомПас-МГТУ», в условиях которого изготовлены опытные образцы композиции различных составов.*

*Проведены исследования и испытаны антинакипные свойства композиции в воде с различной жесткостью при различных температурах в водонагревательных приборах.*

*На основании полученных результатов определены составы композиции, которые рекомендованы к применению в водонагревательных приборах, системах водоснабжения и водоотведения.*

**Ключевые слова:** *солеотложения (накипь), коррозия, композиция, ингибитор коррозии и солеотложений, растворимость, водонагревательные приборы, системы водоснабжения и водоотведения, жесткость воды.*



Известно, что основными причинами нарушения работоспособности систем, заполняемых горячей водой, являются коррозионное разрушение металлических поверхностей и уменьшение проходных отверстий в них из-за солеотложений, при этом снижается теплоотдача, увеличивается расход электроэнергии, повышается температура металлических частей нагревательного элемента и уменьшается срок службы водонагревательных приборов. При замене металлических поверхностей на пластиковые эти проблемы не исчезают, так как солеотложения образуются на любых поверхностях, а запорные узлы выполняются из металлов, которые необходимо защищать от коррозии. Продукты коррозии, которые поступают в воду, ухудшают ее потребительские свойства.

Эффективным способом защиты поверхностей водонагревательных устройств является химическая обработка воды ингибиторами коррозии и солеотложений [1, 2]. В качестве примера можно привести разработанный авторами ингибитор «Композиция фосфатная» («Комфос») на основе различных фосфатов щелочных и щелочно-земельных металлов, составы которого запатентованы [5, 8]. Результаты исследований антикоррозионных и антинакипных свойств ингибитора «Комфос» опубликованы в ряде работ [3, 4, 6, 7, 9–12].

Патент [8] стал основой создания малого инновационного предприятия ООО «КомПас-МГТУ», учредителем которого является Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова (ФГБОУ ВПО «МГТУ»). На предприятии была продолжена работа по разработке новых составов ингибитора и улучшения его потребительских свойств. Ингибитор получил торговое название «композиция «Астра»» (далее композиция). Готовая композиция представляет собой стекловидные прозрачные гранулы на основе фосфатов щелочных и щелочноземельных металлов. Она экологически безопасна, нейтральна, не изменяет значения pH обрабатываемой воды, удобна в обращении, имеет неограниченный срок хранения при соблюдении технических требований.

Для исследования антинакипных свойств композиции за счет средств «КомПас-МГТУ» была создана установка, состоящая из двух бытовых водонагревателей, объемом 60 дм<sup>3</sup> каждый, подключенных к водопроводной сети УНЦ МГТУ. Одна из установок размещена в административном корпусе, другая — в корпусе №10, и помимо их использования в научных целях обе служат для обеспечения данных корпусов горячей водой. Для контроля расхода воды перед каждым водонагревателем были установлены счетчики. В каждый водонагреватель поступала холодная вода из 10-й насосной станции г. Магнитогорска: перед одним водонагревателем

(см. рисунок, а) был установлен фильтр с композицией для обработки проходящей воды, в другой водонагреватель поступала вода, не обработанная композицией (см. рисунок, б).



а



б

Фрагмент водонагревательной системы: а – с композицией; б – без композиции

Общая жесткость воды составляла 4,5 моль/м<sup>3</sup>, карбонатная жесткость – 4,0 моль/м<sup>3</sup>. Температура нагрева воды в нагревательных установках – 60–65°С.

Опытные образцы композиции находились в фильтре в течение девяти месяцев. После чего из водонагревателей были извлечены все солеотложения (как с поверхностей нагревательных элементов, так и со стенок баков водонагревателей). Отложения высушили, взвесили и провели анализ их состава химическим методом. Помимо этого контролировалась жесткость воды на входе и выходе водонагревателей. Результаты исследования представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты исследования солеотложений

Место отбора пробы из водонагревателя	Объем воды, прошедшей через нагреватель, м <sup>3</sup>	Общая масса отложений, г	Общая жесткость воды, моль/м <sup>3</sup>		Состав отложений, %						Масса отложений на 1 м <sup>3</sup> воды
			на входе в водонагреватель	на выходе из водонагревателя	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	
С композицией	5,0	37,0	4,5	4,3	1,2	42,0	10,0	30,0	9,5	5,6	7,4
Без композиции	5,0	376,0	4,5	1,0	1,7	40,3	12,8	-	30,6	14,6	75,2

Исследования показали, что общая масса отложений с поверхности водонагревателя без применения композиции в 10 раз больше и состоит из карбонатов кальция и магния (солеотложения – до 90%) и продуктов коррозии (до 10%). Отложения из водонагревателя после обработки воды композицией состоят, главным образом, из фосфатов кальция и магния (до 60%), что подтверждает образование антикоррозионной фосфатной пленки при обработке воды композицией, и лишь небольшая часть отложений (менее 30%) представлена карбонатами. Продукты коррозии отсутствовали, что объясняется образованием защитной фосфатной пленки на элементах водонагревателей.

Также следует отметить тот факт, что обработанная композицией вода при прохождении через водонагреватель практически не меняет свою жесткость, в отличие от необработанной воды.

Для большей достоверности результатов химического анализа состава отложений был проведен рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) нестандартным методом на спектрометре ARL QUANT'X. В табл. 2 для сравнения представлены результаты анализов солеотложений из водонагревателя, через который проходила вода, обработанная композицией.

Таблица 2  
Результаты химического анализа и РФА состава солеотложений

Химическая формула компонентов отложений	Химический анализ, %	РФА, %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,2	1,5
CaO	42,0	43,0
MgO	10,0	12,0
CO <sub>2</sub>	9,5	Не определяется
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	30,0	31,0
SiO <sub>2</sub>	5,6	10,0

Учитывая особенности нестандартного метода контроля [13], можно сделать вывод, что данные химического анализа и данные, полученные РФА-методом на спектрометре QUANT'X, практически совпадают.

Таким образом, можно сделать вывод, что композиция «Астра», опытные образцы которой изготовлены в условиях ООО «КомПас-МГТУ», обладает антинакипными свойствами и может быть рекомендована для обработки воды как бытовых водонагревателей, водонагревательных приборов, так и промышленных теплообменных систем.

#### Список литературы

1. Рейзин Б.Л., Стрижевский И.В., Шевелев Ф.А. Коррозия и защита коммунальных водопроводов. М.: Стройиздат, 1979. 398 с.

#### Сведения об авторах

**Понурко Ирина Витальевна** – канд. техн. наук, доц. кафедры физической химии и химической технологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им Г.И.Носова». Тел.: 8(3519)29-84-25. E-mail: ironurko@mail.ru

2. Рейзин Б.Л., Стрижевский И.В., Сазонов Р.Л. Защита систем горячего водоснабжения от коррозии. М.: Стройиздат, 1986. 102 с.
3. Опыт применения ингибитора «Композиция фосфатная» (КОМФОС) для защиты систем горячего водоснабжения от коррозии и накипеобразования / В.Н. Лаптев, Г.С. Слободжанкин, З.И. Костина и др. // Энергосбережение и водоподготовка. 1999. № 3. С. 43-46.
4. О применении ингибитора «КОМФОС» в системе горячего водоснабжения г. Магнитогорска / Б.А. Никифоров, З.И. Костина, Г.С. Слободжанкин и др. // Практика противокоррозионной защиты. 2000. №3. С.28-31.
5. Композиция для защиты от коррозии и солеотложений систем водоснабжения и способ ее приготовления: пат. 2149219 РФ / З.И. Костина, Б.А. Никифоров, В.Н. Лаптев, Г.Д. Клочковская, В.Ф. Костин, Г.С. Слободжанкин. 2000. Бюл. № 14.
6. Разработка и использование композиций для улучшения качества пожарно-питьевой воды / З.И. Костина, В.Ф. Костин, С.А.Крылова, И.В. Понурко // Наука и устойчивое развитие общества. Наследие В.И.Вернадского: сб. материалов 2-й международной научно-практической конференции. Тамбов: Тамбовпринт, 2007. С.120-121.
7. Разработка составов и схем применения фосфатных композиций для различных объектов / З.И. Костина, В.Ф. Костин, С.А.Крылова, И.В. Понурко // Материалы 65-й научно-технической конференции: сб. докл. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. Т.1. С.116-119.
8. Композиция для защиты от коррозии и солеотложений систем водоснабжения и водоотведения: пат. 2303084 РФ / Б.А. Никифоров, З.И. Костина, Г.С. Слободжанкин, С.А. Крылова, В.Ф. Костин, И.В. Понурко. 2007. Бюл. № 20.
9. Анализ состояния стойкости элементов индукционного нагрева с водяным охлаждением / З.И. Костина, В.Ф. Костин, С.А.Крылова, И.В. Понурко // Химия. Технология. Качество. Состояние, проблемы и перспективы развития: межвуз. сб. науч. тр. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. Вып.2. С.85-89.
10. 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.
11. Костина З.И., Крылова С.А., Понурко И.В. Защита металлических поверхностей водоохлаждающих систем от коррозии и солеотложений // Теория и технология металлургического производства. 2014. №1 (14). С. 90-92.
12. Костина З.И., Крылова С.А., Понурко И.В. Защита водонагревательных элементов бытовых приборов от коррозии и солеотложений // Энергосбережение и водоподготовка. 2014. № 4 (90). С. 28-32.
13. Шабалин Е.И., Богачева И.Ю., Шабалина Ю.В. Особенности нестандартного анализа оксидов легких элементов с помощью программы UNIQUANT // Современные направления теоретических и прикладных исследований '2014: сборник научных трудов SWorld. Вып. 1. Т. 36. Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2014. С. 7-10.

**Костина Зинаида Ивановна** – канд. техн. наук, доц. кафедры физической химии и химической технологии 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. кафедры физической химии и химической технологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им Г.И.Носова». Тел.: 8(3519)29-84-25. E-mail: svkryl@mail.ru

**Шабалин Евгений Иванович** — директор ООО «КомПас-МГТУ», ст. преп. кафедры физики ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им Г.И.Носова». E-mail: Kompas-mgtu@yandex.ru

---

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

---

**ANTISCALE COMPOSITION PROPERTIES "ASTRA"**

**Ponurko Irina Vitaliyevna** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: 8(3519)29-84-25. E-mail: [iponurko@mail.ru](mailto:iponurko@mail.ru)

**Kostina Zinaida Ivanovna** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: 8(3519)29-84-25. E-mail: [zikostina@mail.ru](mailto:zikostina@mail.ru)

**Krylova Svetlana Alexandrovna** – Ph. D. (Chemistry), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: 8(3519)29-84-25. E-mail: [svkryl@mail.ru](mailto:svkryl@mail.ru)

**Shabalin Evgeny Ivanovich** – Director of COMPASS – NMSTU LLC, Assistant Professor of Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: [kompas-mgtu@yandex.ru](mailto:kompas-mgtu@yandex.ru)

**Abstract.** *The authors developed and patented Phosphate Inhibitor Compositions in order to protect hot water generator systems, which are filled up with hot and cold water, from corrosion and scale, and also to extend their service. The composition has a limited-constant spontaneous solubility in water that is defined by the relation of alkali and alkaline-earth metal phosphates. The solubility of composition is planned according to the properties of processing water, its flow and temperature in order to maintain the required concentration range without using of dosing devices.*

*Blends of various compositions were prototyped under COMPASS - NMSTU LLC, a small innovative enterprise, which was founded on the basis of FSBEI HPE Nosov Magnitogorsk State Technical University in order to implement the results of intellectual activity into practice.*

*The research studies were carried out and antiscalc composition properties in water with different stiffness were tested in water heating devices at different temperatures.*

*Based on the results obtained blends of compositions have been identified and recommended for the use in water heating devices, water supply and drainage systems.*

**Keywords:** *Scaling (scale deposits), corrosion, composition, scaling and corrosion inhibitor, solubility, water-heating equipment, water supply and drainage systems, water hardness.*

**References**

1. Reizin B.L., Strizhevskiy I.V., Shevelev F.A. *Korroziya i zashchita kommunalnykh vodoprovodov* [The corrosion and protection of communal water supply systems]. Moscow: Stroyizdat, 1979, 398 p. (In Russian)
2. Reizin B.L., Strizhevskiy I.V., Sazonov R.L. *Zashchita sistem goryachego vodosnabzheniya ot korrozii* [The protection of hot water supply systems from corrosion]. Moscow: Stroyizdat, 1986, 102 p. (In Russian)
3. Laptev V.N., Slobozhankin G.S., Z.I. Kostina et al. Opyt primeneniya ingibitora «Kompozitsiya fosfatnaya» (KOMFOS) dlya zashchity sistem goryachego vodosnabzheniya ot korrozii i nakipeobrazovaniya [The experience in the application of Phosphate Composition (KOMFOS) inhibitor to protect hot water supply systems from corrosion and scaling]. *Energosberezheniye i vodopodgotovka*. [Energy saving and Water treatment], 1999, no. 3, pp. 43-46. (In Russian)
4. Nikiforov B.A., Kostina Z.I., Slobozhankin G.S. et al. O primenenii ingibitora «KOMFOS» v sisteme goryachego vodosnabzheniya g. Magnitogorska [On the application of the KOMFOS inhibitor in the hot water supply system of Magnitogorsk]. *Praktika protivokorroziionnoy zashchity*. [Corrosion Protection in Practice]. 2000, no. 3, pp.28-31. (In Russian)
5. Kostina Z.I., Nikiforov B.A., Laptev V.N., Klochkovskaya G.D., Kostin V.F., Slobozhankin G.S. *Kompozitsiya dlya zashchity ot korrozii i soleotlozheniy sistem vodosnabzheniya i sposob yeye prigotovleniya* [The composition for water supply system protection from corrosion and scaling and methods for its preparation]. Patent RF, no. 2149219, 2000.
6. Kostina Z.I., Kostin V.F., Krylova S.A., Ponurko I.V. In: *Nauka i ustoychivoye razvitiye obshchestva. Naslediye V.I.Vernadskogo: Sb. materialov 2-y mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Science and sustainable development of the society. Heritage of V.I. Vernadsky: Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference], Tambov: Tambovprint, 2007, pp.120-121. (In Russian)
7. Kostina Z.I., Kostin V.F., Krylova S.A., Ponurko I.V. *Razrabotka sostavov i skhem primeneniya fosfatnykh kompozitsiy dlya razlichnykh ob'ektov* [The development of compositions and schemes to use phosphate compositions for different objects]. *Materialy 65-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii: Sb. dokl.* [Proceedings of the 65th Scientific Conference: Collection of scientific papers], Magnitogorsk, 2007. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2007, vol.1, pp.116-119. (In Russian)

8. Nikiforov B.A., Kostina Z.I., Slobozhankin G.S., Krylova S.A., Kostin V.F., Ponurko I.V. *Kompozitsiya dlya zashchity ot korrozii i soleotlozheniy sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya* [The composition for water supply and drainage systems protection from corrosion and scaling]. Patent RF, no. 2303084, 2007.
9. Kostina Z.I., Kostin V.F., Krylova S.A., Ponurko I.V. Analiz sostoyaniya stoykosti elementov induktsionnogo nagreva s vodyanym okhlazhdeniyem [The analysis of the resistance state of induction heating elements with water cooling]. *Khimiya. Tekhnologiya. Kachestvo. Sostoyaniye, problemy i perspektivy razvitiya: Mezhvuz. sb. nauch. tr.* [Chemistry. Technology. Quality. Status, Problems and Prospects: Interuniversity collection of scientific papers], Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2009, iss. 2, pp.85-89. (In Russian)
10. Kostina Z.I., Kostin V.F., Krylova S.A., Ponurko I.V. Passivatsiya vnutrennikh poverkhnostey metallicheskih vodovodov [The passivation of the internal surfaces of metallic drainage systems]. *Protsessy i oborudovaniye metallurgicheskogo proizvodstva: Mezhhregionalnyy sb. nauch. tr.* [Processes and equipment for metallurgical production: Interregional collection of scientific papers], Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2009, iss. 8, pp. 200-205. (In Russian)
11. Kostina Z.I., Krylova S.A., Ponurko I.V. Zashchita metallicheskih poverkhnostey vodookhlazhdayushchikh sistem ot korrozii i soleotlozheniy [The protection for metal surfaces of water-cooling systems from corrosion and scaling]. *Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva* [Theory and technology of metallurgical production]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2014, no.1, pp. 90-92. (In Russian)
12. Kostina Z.I., Krylova S.A., Ponurko I.V. Zashchita vodonagrevatelnykh elementov bytovykh priborov ot korrozii i soleotlozheniy [The protection for water heating elements of household equipment from corrosion and scaling] *Energoberezheniye i vodopodgotovka* [Energy saving and Water treatment], 2014, no. 4 (90), pp. 28-32. (In Russian)
13. Shabalin Ye.I., Bogacheva I.YU., Shabalina YU.V. Osobennosti besstandartnogo analiza oksidov legkikh elementov s pomoshchyu programmy UNIQUANT [The features of standard-less analysis for light element oxides with UniQuant]. *Sovremennyye napravleniya teoreticheskikh i prikladnykh issledovaniy 2014: Sbornik nauchnykh trudov SWorld* [Modern directions for theoretical and applied research in 2014: Collection of scientific papers SWorld]. Odessa: KUPRIYENKO SV, 2014, iss. 1, vol. 36, pp. 7-10. (In Russian)



УДК 349.6

Ильина О.Ю., Боброва Э.М., Тураманова Л.Б.

## НАРУШЕНИЯ ПРИРОДООХРАННОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА

**Аннотация.** В статье рассмотрена классификация экологических правонарушений и виды ответственности при нарушениях природоохранного законодательства, изучены случаи несоблюдения требований обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения при обращении с отходами производства и потребления и опасными веществами, несоблюдения экологических требований при осуществлении градостроительной деятельности и эксплуатации предприятий, сооружений, нарушения требований к охране водных объектов и других экологических требований, выявленные природоохранной прокуратурой Челябинской области, рассмотрены конкретные примеры.

**Ключевые слова:** природоохранная деятельность, органы исполнительной власти, экономический механизм, правонарушения, ответственность, природопользование, охрана окружающей среды.

Природоохранная деятельность субъектов хозяйствования, в том числе предприятий и производств металлургического комплекса, регламентируется:

- законодательством (международные конвенции, соглашения и другие акты; законы РФ, указы президента, постановления правительства);
- нормативной базой (государственные и отраслевые стандарты, нормативы, нормы, правила);
- методической базой (стандарты, методические указания, руководящие документы, правила и др.).

В целях рационального природопользования законом «Об охране окружающей природной среды» предусмотрен *экономический механизм*, который призван: решать задачи планирования и реализации и финансирования природоохранных мероприятий; устанавливать лимиты на использование природных

ресурсов и лимиты на загрязнение окружающей природной среды выбросами, стоками, отходами, физическими излучениями и нагрузками; определять плату (штраф) за использование природных ресурсов и загрязнение природных комплексов, ущерб, наносимый природной среде от хозяйственной деятельности предприятий; обеспечивать расчет эколого-экономических показателей для объектов и производственных процессов. В области природопользования и охраны окружающей среды функционирует ряд органов исполнительной власти РФ.

Экологические *правонарушения* классифицируют:

- по виду юридической ответственности – экологические преступления, административные и дисциплинарные;

плинарные экологические проступки, гражданско-правовые нарушения;

- по объекту посягательства – земельные, водные, лесонарушения, нарушения законодательства об охране животного мира, континентального шельфа и т.п.;

- по субъекту – совершаемые должностными лицами, гражданами, юридическими лицами;

- по источнику права – предусмотренные только экологическим законодательством, иным законом, тем и другим.

В соответствии с действующими нормативно-правовыми документами экономический механизм охраны окружающей среды России включает как поощрительные элементы (позитивная мотивация), так и инструменты принуждения (негативная мотивация), при некотором преобладании последних.

В случае причинения вреда вследствие нарушения природоохранного законодательства наступает эколого-правовая ответственность, которая представляет собой систему юридических норм, обеспечивающих порядок применения и реализацию принудительных мер воздействия к правонарушителю. Ее основанием является не сам факт возникновения вреда, а совершение экологического правонарушения.

Распространенными причинами загрязнений природы служат обстоятельства, связанные с несоблюдением требований при проектировании объекта, недостатки строительно-монтажных работ, отсутствие необходимой проектной документации, ведение работ с отступлением от проекта, нарушение строительных норм и правил (СНиП); использование недоброкачественных, нестандартных материалов и др. Обстоятельствами, способствующими загрязнению природной среды, кроме того, являются: слабый уровень контроля за деятельностью должностных лиц и работников, обязанных осуществлять управление и следить за работой очистных сооружений, нерегулярные проверки деятельности этих лиц со стороны органов экологического контроля, вышестоящих по подчиненности органов и местной администрации.

Выделяют следующие *виды ответственности* за экологические правонарушения: имущественную; дисциплинарную; административную; уголовную. Уголовная ответственность предусмотрена за нарушения экологического законодательства в различных сферах человеческой деятельности: при размещении, проектировании, строительстве, эксплуатации предприятий, в медицине, промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте, в быденной деятельности граждан, при осуществлении специализированных или опасных работ.

### 1. Дисциплинарная ответственность

Дисциплинарную ответственность, согласно ст. 82 Закона «Об охране окружающей природной среды» несут работники предприятий, организаций, учреждений независимо от форм собственности за невыполнение планов и мероприятий по охране при-

роды и рациональному использованию природных ресурсов, за нарушение нормативов качества окружающей природной среды, ненадлежащую эксплуатацию очистных сооружений и установок, а также за нарушение иных требований природоохранительного законодательства при исполнении своих обязанностей по службе или работе.

Для данного вида эколого-правовой ответственности характерны следующие отличительные признаки:

- дисциплинарная ответственность может наступить лишь за экологические правонарушения, совершенные работниками в процессе исполнения ими своих трудовых обязанностей;

- дисциплинарная ответственность за экологические правонарушения применяется администрацией предприятия, на котором работает правонарушитель или членом кооператива которого он является.

Дисциплинарная эколого-правовая ответственность может быть заменена общественной ответственностью, которая не может применяться одновременно с дисциплинарной.

### 2. Материальная ответственность

Общие положения о возможности применения к нарушителю экологического законодательства материальной ответственности содержится в ст. 83 Закона «Об охране окружающей природной среды». Порядок ее применения регулируется трудовым законодательством. Материальная ответственность заключается в возложении на причинителя вреда обязанности возместить расходы, которые по его вине понесло учреждение, организация, предприятие или иной хозяйствующий субъект, с которым виновный находится в трудовых отношениях. В соответствии со ст. 119 КЗоТ РСФСР причинитель вреда несет ответственность в размере прямого действительного ущерба, но не более своего месячного заработка. Однако виновный полностью возмещает вред, если он причинен в результате преступного деяния умышленно; когда вред причинен не при исполнении своих трудовых обязанностей; когда вред причинен работником, находящимся в нетрезвом состоянии; когда в соответствии с законодательством или договором на работника возложена полная материальная ответственность.

### 3. Административная ответственность

Административная ответственность за экологические правонарушения применяется уполномоченным на то органом исполнительной власти государства, должностным лицом соответствующего государственного органа или судом. Она может быть возложена как на физических, так и на юридических лиц.

За совершение экологических административных правонарушений могут применяться: предупреждение, штраф, конфискация орудий совершения правонарушения, лишение специального права (охоты, рыболовства, управление транспортными средствами),

возмездное изъятие предмета, явившегося орудием совершения правонарушения.

#### 4. Специальная ответственность

В силу природных особенностей объектов окружающей среды ответственность за экологические правонарушения не ограничиваются традиционными рамками дисциплинарной, административной, уголовной и материальной ответственности. В юридической литературе уже давно отмечалось о наличии специальных видов ответственности: земельно-правовой, водно-правовой и т.д. Можно выделить следующие виды санкций:

- ограничение прав природопользования;
- приостановка мероприятий, составляющих определенные элементы природопользования;
- прекращение права природопользования в случаях нарушений природопользователями норм, правил и иных требований экологического пользования (ст. 40 ВК РФ);
- лишение права природопользования, если это может нанести вред природной среде из-за небрежности природопользователей. Так, запрещается наполнение водохранилищ (а значит, и водопользование) до осуществления предусмотренных проектами мероприятий по подготовке ложа (ст. 15 ВК РФ);
- возмещение затрат, которые нарушитель вложил в природный объект за период самовольного использования;
- возложение обязанностей на нарушителя провести работу по восстановлению нарушенного объекта за свой счет.

Для отнесения *преступлений* к категории экологических используются такие признаки, как экологичность, общественная опасность, общая и уголовная противоправность. За административные нарушения и уголовные преступления в области охраны окружающей природной среды в РФ устанавливается ответственность, которая дифференцируется на несколько категорий: ответственность граждан; должностных лиц; юридических лиц.

Санкции за экологические преступления предусматривают штрафы в различных размерах, ограничение свободы, исправительные работы, арест на различные сроки, а также лишение свободы, лишение права занимать определенные служебные должности, административную ответственность. Закон устанавливает обязанность полного возмещения вреда окружающей среде, причиненного предприятиями по фактическим затратам на восстановление нарушенного состояния с учетом понесенных убытков.

Отношение к природной среде становится мерой социальных и технических достижений человеческого общества, характеристикой уровня развития цивилизации. Деятельность ряда министерств и ведомств Российской Федерации является составной частью систе-

мы централизованного ведомственного управления охраной окружающей среды и природопользованием.

За последние 2 года в ходе плановых проверок Управлением Росприроднадзора по Челябинской области и Природоохранная прокуратура города Магнитогорска были выявлены следующие случаи нарушений природоохранного законодательства:

- несоблюдение экологических и санитарно-эпидемиологических требований при обращении с отходами производства и потребления и опасными веществами;
- выброс вредных веществ в атмосферный воздух или вредное физическое воздействие на него без специального разрешения;
- нарушение требований к охране водных объектов, которое может повлечь их загрязнение, нарушение правил водопользования при сбросе сточных вод в водные объекты;
- сброс сточных вод в реку без соответствующего разрешения и с превышением нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ для водных объектов рыбохозяйственного значения;
- о несоблюдении экологических требований при осуществлении градостроительной деятельности и эксплуатации предприятий, сооружений, строительство без положительного заключения государственной экологической экспертизы;
- складирование, хранение и захоронение отходов на открытом участке местности, не имеющем санитарно-эпидемиологическое заключение о соответствии его санитарным правилам, по периметру территории свалки не обустроено ограждение, отсутствие контроля за составом поступающих отходов;
- факт использования земельного участка из категории земель сельскохозяйственного назначения не по целевому назначению, а именно для размещения свалки отходов;
- нарушение законодательства в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения; не установлены размеры санитарно-защитной зоны промышленных объектов, не проводились лабораторные исследования атмосферного воздуха, также отсутствовал производственный контроль за образованием куриного помета и производимого на его основе органического удобрения.

Природоохранная прокуратура города Магнитогорск Челябинской области возбудила в отношении природопользователей дела об административных правонарушениях по статье о несоблюдении экологических требований при осуществлении деятельности. По делу о взыскании с предприятий восстановительной стоимости причиненный ущерб должен быть погашен в полном объеме. При этом постановление о возбуждении уголовного дела по факту незаконной вырубке деревьев направлено в отдел полиции. По

результатам рассмотрения обстоятельств возбуждено уголовное дело по ч.1 ст.260 (незаконная рубка лесных насаждений) УК РФ. В соответствии с предусмотренными санкциями для юридического лица за нарушение правил природопользования в качестве наказания наложены штрафы в размере от 80 до 100 тыс. руб. А также в качестве наказания для должностных лиц за допущенные нарушения природоохранного законодательства наложены штрафы в размере от 10 до 20 тыс. руб., ответственные лица привлечены к дисциплинарной ответственности. Надзорный орган вправе требовать административного приостановления деятельности предприятия на срок до 90 дней, если его требования не будут выполнены.

#### Список литературы

1. Боброва З.М., Ильина О.Ю. Управление качеством окружающей среды: учеб. пособие. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. 72 с.
2. 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 ч. Ч.II. Сибай: Изд-во ГУП РБ «СГТ», 2012. С.43-48.
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. Вып.12. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 136-141. <http://magnitogorsk.russiaregionpress.ru/archives/967>
4. <http://www.verstov.info/tags>
5. <http://magnitogorsk.rusplit.ru/index/vladeltsev-dvuh-magnitogorskih-avtomoeek--nakajut-za-narushenie-ekologicheskogo-zakonodatelstva-119721.html>
6. <http://www.mineral.ru/News/54091.html>
7. <http://www.magcity74.ru/news/19207-magnitogorskaja-priodoohrannaja-prokuratura-nashla-narusheniya-pri-zahoronenii-otvodov.html>
8. <http://www.1mgn.ru/v-gorode/ofitsialno/ptitsevodcheskiy-kompleks-narushil-zakonodatelstvo.html>
9. <http://www.ecoindustry.ru/news/view/41256.html>

#### Сведения об авторах

**Ильина Оксана Юрьевна** – канд. техн. наук, доц. факультета химии, стандартизации и биотехнологии, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519) 29-84-88. E-mail: [eco\\_safe@magtu.ru](mailto:eco_safe@magtu.ru)

**Боброва Эльмира Максимовна** – студентка, институт юстиции ФГБОУ ВПО «Уральский государственный юридический университет», г. Екатеринбург.

**Тураманова Лилия Батыровна** – студентка факультета химии, стандартизации и биотехнологии, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им.Г.И. Носова».

### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

#### VIOLATIONS OF ENVIRONMENTAL LAWS

**Irina Oksana Yuryevna** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: (3519) 29-84-88. E-mail: [eco\\_safe@magtu.ru](mailto:eco_safe@magtu.ru)

**Bobrova Elmira Maksimovna** – Student, Ural State University of Law, Ekaterinburg.

**Turamanova Liliya Batyrovna** – Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University.

**Abstract.** *The article describes the classification of environmental offenses and types of liability for violations of environmental laws, cases of non-compliance with the sanitary and epidemiological welfare of the population in dealing with waste production, and consumption and hazardous substances, non compliance with environmental requirements in the implementation of urban development activities and operation of enterprises, constructions, violation of the requirements for the protection of water bodies and other environmental requirements identified by the environmental prosecutor's office of the Chelyabinsk region studied, specific examples are considered.*

**Keywords:** *environmental protection activities, the executive authorities, the economic mechanism, offence, liability, environmental management, environmental protection.*

#### References

1. Bobrova Z.M., Ilna O.Yu. *Upravlenie kachestvom okruzhayushey sredy* [Environmental Quality Management]. Magnitogorsk: Magnitogorsk State Technical University, 2014, 72 p.
2. Bobrova Z.M., Ilna O.Yu. Legal instruments for environmental protection. *Pravovye instrumentyi ohrany okruzhayushey sredy* [Uralsky region of the Republic of Bashkortostan: Man, Nature, Society: transactions of region scientific-practical conf. Ch.II]. Sibai: SUE RB «SGT», 2012, pp. 43-48.
3. Bobrova Z.M., Ilna O.Yu., Zueva T.Yu. *Teoria i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva* [Theory and technology of metallurgical production]: interregional collection of proceedings. Iss.12. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2012, pp. 136-141.
4. <http://magnitogorsk.russiaregionpress.ru/archives/967>
5. <http://www.verstov.info/tags>

6. <http://magnitogorsk.rusplt.ru/index/vladeltsev-dvuh-magnitogorskih-avtomoev--nakajut-za-narushenie-ekologicheskogo-zakonodatelstva-119721.html>
7. <http://www.mineral.ru/News/54091.html>
8. <http://www.magcity74.ru/news/19207-magnitogorskaja-prirodoohrannaja-prokuratura-nashla-narushenija-pri-zahoronanii-othodov.html>
9. <http://www.1mgn.ru/v-gorode/ofitsialno/ptitsevodcheskiy-kompleks-narushil-zakonodatelstvo.html>
10. <http://www.ecoindustry.ru/news/view/41256.html>



УДК 631.4

Боброва З.М., Тураманова Л.Б.

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ СОСТОЯНИЯ ПОЧВ В ГОРОДЕ МАГНИТОГОРСКЕ

***Аннотация.** В статье рассмотрены основные факторы, вызывающие загрязнение почв, причины высоких приземных концентраций загрязняющих веществ в г. Магнитогорске, негативное влияние кладбищ на состояние почв, опасность промышленных отходов. Приведена методика изучения состояния почвенного покрова - биоиндикация. Предложены мероприятия по улучшению состояния почв в г. Магнитогорске, в том числе необходимость разработки экологических образовательных программ для различных возрастных групп, популяризации положительного опыта улучшения экологических показателей в других городах и странах.*

***Ключевые слова:** природоохранная деятельность, охрана окружающей среды, причины загрязнения почв, биоиндикация, мероприятия по улучшению состояния почв.*

Город Магнитогорск постоянно включается в приоритетный список городов Российской Федерации с наибольшим уровнем загрязнения почв. В городе и прилегающих к нему районах почва подвергается интенсивному антропогенному воздействию. Основными факторами, вызывающими ее загрязнение, являются промышленные, бытовые и сельскохозяйственные отходы. В год предприятия выбросили в атмосферу 296 тыс. т вредных веществ, из них в грунт осело 155,2 тыс. т [2].

В районе действия ОАО «ММК» в воздухе фиксируется высокая приземная концентрация Fe, Zn и Pb, которые комплексно поступают в организм человека. Накопление тяжелых металлов в почве и компонентов ландшафта является одним из факторов развития онкологических и других заболеваний человека. Влияние Магнитогорского промышленного узла настолько велико, что даже в почвах, расположенных за окраинами города на расстоянии до десяти километров, фиксируется повышенное, а иногда и аномально повышенное содержание тяжелых металлов. В Агаповском и Верхнеуральском районах загрязнено 10,8 тыс. гектар земель, прилегающих к Магнитогорской промышленной агломерации. Такое же локальное загрязнение почвы наблюдается вдоль автострад с напряженным движением.

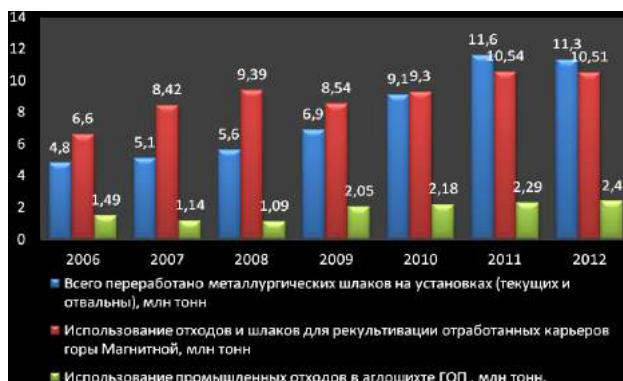
В Магнитогорске следует обратить внимание на экологическую опасность кладбищ, занимающих большие площади на прилегающих к городу террито-

риях вблизи водных объектов. Избыточное поступление в почвы города и пригородов органических остатков может нарушать процесс самоочищения почв, который идет с преобладанием гниения и брожения и может остановиться на стадии минерализации (процессы нитрификации) и гумификации отсрочиваются на длительный период. Происходящие в почве кладбищ биохимические процессы могут приводить к загрязнению атмосферного воздуха токсичными газами – сероводородом, метилмеркаптаном, аммиаком; загрязнению грунтовых вод продуктами разложения, особенно если кладбище располагается на подтопляемых или на периодически подтопляемых территориях; попаданию продуктов разложения в открытые водоемы; распространению с грунтовыми водами болезнетворных микроорганизмов. Мероприятия по снижению негативного воздействия крематориев включают соблюдение паспортных режимов сжигания, эффективную очистку отходящих газов, предварительную обработку остатков и аксессуаров, применение современного кремационного оборудования [4].

Наряду с выбросами предприятий в городе имеются участки, где открытым способом складировались бытовые и промышленные отходы (шлако- и золоотвалы, хвостохранилища, свалки). По концентрации тяжелых металлов аномалии здесь не уступают выбросам, являясь источниками повторной эмиссии в окружающую среду. В результате воздушной и вод-



ной миграции техногенные ореолы вокруг отвалов и свалок по площади в несколько раз больше территории, отведенной под отходы. Сложность проблемы оценки опасности промышленных отходов состоит в том, что они резко отличаются по своему качественному и количественному составу даже на однотипных предприятиях. Опасность отходов проявляется в загрязнении окружающей среды и опосредованном влиянии ее компонентов на здоровье человека [5]. В Экологической программе ОАО «ММК» большое внимание уделяется использованию промышленных отходов в собственном производстве и рекультивации отработанных карьеров. Как показано на диаграмме (см. рисунок), суммарная мощность переработки шлаков на 2011–2012 годы составила около 11,5 млн т шлака в год. Размер отвалов металлургических шлаков в ММК – более 60 млн т [2]. С учетом текущего производства отвалы металлургических шлаков будут полностью переработаны в течение ближайших лет.



Переработка и использование шлаков и отходов ОАО «ММК»

На сегодняшний день существуют различные методики изучения состояния почвенного покрова в связи с его загрязнением тяжелыми металлами и токсичными соединениями. Биологический метод оценки – биоиндикация – основан на выявлении биологически и экологически значимых нагрузок с помощью специфических реакций живых организмов и их сообществ. Так как большая часть пылевых выбросов металлургических предприятий состоит из оксидов железа, поэтому величина магнитной восприимчивости позволяет судить о техногенном загрязнении почв. Измерение магнитной восприимчивости – это экспресс-метод, дающий возможность в сжатые сроки без существенных затрат обследовать загрязненную тяжелыми металлами территорию. Основным методом интерпретации и анализа полученных данных является почвенно-геохимическое картографирование. Составляются как моноэлементные карты, на которых изолиниями или

#### Сведения об авторе

**Боброва Залия Маратовна** – канд. техн. наук, доц. факультета химии, стандартизации и биотехнологии, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им.Г.И. Носова». Тел. (3519) 29-84-88. E-mail: eco\_safe@magtu.ru

сплошным фоном показаны зоны загрязнения отдельными элементами, так и карты суммарного загрязнения почв города несколькими элементами, эти карты могут быть применены для анализа загрязненности почв и разработки необходимых мероприятий.

Для обеспечения защиты здоровья человека и окружающей среды необходимо обеспечить финансирование строительства и эксплуатации очистных сооружений на действующих предприятиях и обустройство санитарно-защитных зон, внедрения методов биоиндикации. Для ослабления антропогенного воздействия на урбанизированных территориях во всем мире рекомендуются зеленые насаждения. Несанкционированная вырубка деревьев на территории города негативно влияет на состояние почв, приводя к их выветриванию, вымыванию, эрозированию, потере плодородия. Хотя бы отчасти улучшить качество и воздуха, и почв могли бы: надлежащее исполнение мероприятий по озеленению разных районов города, научно обоснованный подбор высаживаемых пород кустарников и деревьев, своевременная посадка растительности и внесение удобрений и питательных веществ в деградированные почвы.

Мы придаем большое значение изменению менталитета населения и повышению культуры людей в сфере охраны окружающей среды и рационального природопользования. Для этого необходимо разрабатывать экологические образовательные программы для различных возрастных групп, начиная с детского возраста, вовлекать широкие слои населения при реализации природоохранных задач (например, при раздельном сборе мусора), широко освещать в СМИ примеры активной жизненной позиции граждан по сохранению жизненной среды, популяризировать положительный опыт улучшения экологических показателей в других городах и странах. Сохранение природных ресурсов и их охрана – важнейшая задача всех поколений!

#### Список литературы

1. Дубинина М.В, Елесина В.В, Боброва З.М. Исследование загрязненности почвенного покрова территории города Магнитогорска // Теория и технология металлургического производства: межвуз. сб. науч. тр. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. №1 (13). С.55-57.
2. Экология городов Челябинской области. URL:<http://www.protown.ru/russia/obl/articles/articles/>
3. Магнитогорская почва. URL:<http://www.ecomagnitka.org/>
4. Болондин Р.К. Человек и природа. М.: Олма-Пресс, 2001.
5. Экология города Магнитогорска. URL:<http://www.magref.ru/ekologiya-goroda-magnitogorska/>

**Тураманова Лилия Батыровна** – студентка, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им.Г.И. Носова».

---

*INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH*

---

**PROPOSALS TO BETTER SOILS IN MAGNITOGORSK**

**Bobrova Zaliya Maratovna** – Ph. D. (eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: (3519) 29-84-88. E-mail: eco\_safe@magtu.ru

**Turamanova Liliya Batyrovna** – Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University.

***Abstracts.** The article describes the main factors that cause soil pollution, causes of high ground-level concentrations of pollutants in the city of Magnitogorsk, the negative impact of cemeteries on soil, hazardous industrial waste. The technique of studying the state of the soil cover - Bioindication. The measures to improve the soil in the city of Magnitogorsk, including the need to develop environmental educational programs for different age groups, promotion of good practices to improve environmental performance in other cities and countries.*

***Keywords:** nature protection activity, environmental protection, the causes of soil contamination, bioindication, measures to improve the soil.*

**References**

1. Dubinina M.V., Elesina V.V., Bobrova Z.M. Investigation of soil pollution in the city of Magnitogorsk. *Technika i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [Theory and technology of metallurgical production]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2013, №1 (13), pp. 55-57.
2. URL:<http://www.protown.ru/russia/obl/articles/articles/>
3. URL:<http://www.ecomagnitka.org/>
4. Bolondin R.K. Man and Nature. Moscow, 2001.
5. URL:<http://www.magref.ru/ekologiya-goroda-magnitogorska/>



# ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

УДК 53.536, 53.08

Кочкин Ю.П., Богачева И.Ю.

## КОМПЛЕКСНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКЕ И ТЕРМОДИНАМИКЕ

**Аннотация.** В статье представлены устройство и принцип действия комплексной установки для выполнения лабораторных работ по разделу «Молекулярная физика и термодинамика» курса физики и результаты по определению коэффициента вязкости, коэффициента Пуассона для воздуха на данной установке, а также результаты исследования изменения энтропии при переходе неравновесной системы в состояние равновесия.

**Ключевые слова:** коэффициент вязкости воздуха, коэффициент Пуассона, метод Клемана и Дезорма, энтропия, закон возрастания энтропии.

Среди фундаментальных наук, определяющих современный научно-технический прогресс, физике принадлежит особая роль в подготовке выпускников высших учебных заведений к активному участию в научной деятельности и современном производстве.

Главное место в фундаментальной подготовке занимает общефизический лабораторный практикум. Главной идеей практикумов является единство теоретического и практического знания, развитие исследовательских способностей студентов, умение демонстрировать приобретенные знания при выполнении лабораторных работ.

На кафедре физики спроектирована и создана оригинальная комплексная лабораторная установка, которая позволяет выполнить несколько лабораторных работ по молекулярной физике и термодинамике.

Комплексная установка предназначена для использования в учебном лабораторном практикуме по курсу «Молекулярная физика и термодинамика» высших учебных заведений и позволяет организовать проведение цикла лабораторных работ по данным разделам физики.

Технические характеристики установки позволяют организовывать и выполнять следующие лабораторные работы:

1. Определение коэффициента Пуассона методом Клемана и Дезорма.
2. Определение коэффициента вязкости воздуха.
3. Исследование изменения энтропии при переходе неравновесной системы в состояние равновесия (проверка второго начала термодинамики).

1. Описание и принцип действия комплексной установки

Общая схема лабораторной установки представлена на рис. 1.

Установка включает в себя:

- 1) два сосуда **А** и **В** объемом по 15 л;
- 2) насос **Н** для нагнетания воздуха в сосуд **А**;

- 3) капилляр, соединяющий рабочие сосуды;
- 4) манометр **М** для измерения разности давлений в сосудах;
- 5) рабочий шаровый кран **РК**, с помощью которого открывается сосуд **А** на заданное время;
- 6) электронный секундомер для измерения времени открытия крана **РК**;
- 7) концевой выключатель **Вк** для включения секундомера;
- 8) пробковые краны **К1** и **К2** для сообщения сосудов **А** и **В** с атмосферой;
- 9) пробковый кран **К3** для перекрытия насоса.

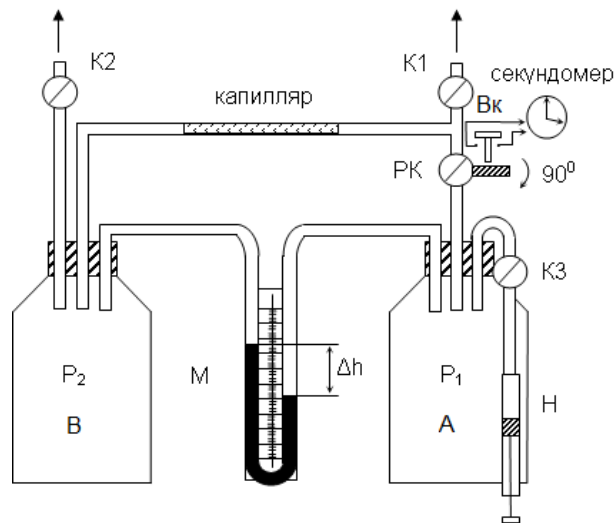


Рис. 1. Схема комплексной установки

Рабочий кран **РК** при повороте на  $90^\circ$  открывает сосуд **А**; при этом одновременно через концевой выключатель **Вк** включается секундомер. При обратном повороте **РК** секундомер выключается. Эти операции позволяют точно измерить время открытия сосуда **А**.

Кран **К3** позволяет очень точно выставить любую начальную разность давлений воздуха  $\Delta P = P_1 - P_2$  в рабочих сосудах. Для этого насосом

Н создается вначале немного большая разность давлений  $\Delta P$ , чем это задано условиями эксперимента, а затем открытым краном К3 за счет небольшой протечки воздуха через обратный клапан насоса эта разность  $\Delta P$  доводится до необходимой.

2. Определение вязкости воздуха

В данной лабораторной работе для определения коэффициента вязкости воздуха  $\eta$  используется формула Пуазейля [2]:

$$\eta = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot \Delta P \cdot t}{8 \cdot l \cdot V} \quad (1)$$

где  $r$  – радиус капилляра;

$\Delta P$  – разность давлений на концах капилляра;

$t$  – время протекания воздуха через капилляр;

$l$  – длина капилляра;

$V$  – объем воздуха, прошедшего через капилляр за время данное  $t$ .

На данной лабораторной установке при протекании воздуха через капилляр из сосуда А в атмосферу в течение времени  $t$  избыточное давление  $\Delta P$  в сосуде изменяется от некоторого значения  $\Delta P_1$  до конечного  $\Delta P_2$ .

Зная величину атмосферного давления  $P_A$  и объем сосуда  $V_C$  можно, используя уравнение Менделеева-Клапейрона, найти объем  $V$  воздуха, прошедшего через капилляр и получить из формулы (1) выражение

$$\eta = \left( \frac{\pi \cdot r^4 \cdot P_A}{16 \cdot l \cdot V_C} \right) \cdot \frac{\Delta P_1 + \Delta P_2}{\Delta P_1 - \Delta P_2} \cdot t \quad (2)$$

При обработке экспериментальных данных вместо разностей давлений  $\Delta P_1$  и  $\Delta P_2$  в формулу (2) подставляются соответствующие показания манометра  $\Delta h_1$  и  $\Delta h_2$ .

Для проведения экспериментальных измерений по определению коэффициента вязкости  $\eta$  необходимо предварительно кран К2 открыть, а кран К1 закрыть. Задать начальную разность давлений  $\Delta h_1$  (рекомендуется 15-20 см) и конечную разность давлений  $\Delta h_2$  (например, как приведено ниже, на 4 см меньше).

В эксперименте измеряется время открытия крана РК (время протекания воздуха через капилляр).

Далее в табл. 1 приводятся результаты экспериментальных измерений и расчетов определения коэффициента вязкости воздуха  $\eta$  на описываемой установке с использованием формулы (2).

Таблица 1

Результаты экспериментальных измерений и расчетов

$\Delta h_1$ , см	$\Delta h_2$ , см	№ эксперимента	t, с	Коэффициент вязкости $\eta \cdot 10^{-6}$ , Па·с	Среднее значение коэффициента вязкости $\langle \eta \rangle \cdot 10^{-6}$ , Па·с	Среднеквадратичное отклонение $S_\eta \cdot 10^{-6}$ , Па·с	Доверительный интервал (при $\alpha=0,9$ ) $\delta \eta \cdot 10^{-6}$ , Па·с
30-4,3=16,7	16,7-4=12,7	1	11,24	16,9	18,0	0,4	0,4
		2	11,84	17,8			
		3	12,28	18,5			
		4	12,42	18,7			
		5	11,90	17,9			
		6	12,00	18,1			

Табличное значение вязкости  $\eta = 17,9 \cdot 10^{-6}$  Па·с при  $t=25^\circ\text{C}$ .

Таким образом, с доверительной вероятностью  $\alpha=0,9$  экспериментальное значение коэффициента вязкости воздуха составляет

$$\eta_{\text{эсп}} = (18,0 \pm 0,4) \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

3. Определение коэффициента Пуассона для воздуха

Определение коэффициента Пуассона (показателя адиабаты) для воздуха на представляемой установке производится по стандартной методике Клемана и Дезорма [1].

Для этого используется сосуд А с рабочим краном РК и с открытыми кранами К1 и К2.

Ниже приведены результаты эксперимента по определению коэффициента Пуассона для начальной разности давлений  $h_1=310$  мм (табл. 2).

Таблица 2

Результаты экспериментальных измерений

Время открывания крана t, с	4,06	5,94	7,96	10,08	11,96	14,00
Разность давлений $h_2$ , мм	67	58	53	47	41	35
$\ln h_2$	4,20	4,06	3,97	3,85	3,71	3,56

По результатам измерений построен график зависимости  $\ln h(t)$  (рис.2).

Экстраполируем экспериментальную прямую  $\ln h(t)$  до пересечения с осью ординат при  $t=0$  и из уравнения регрессии определяем  $\ln h_2 = 4,46$ .

Таким образом, значение уровней жидкостей в манометре  $h_2 = 10^{\ln h_2} = 86,2$  мм.

Зная  $h_2$ , определяем значение коэффициента Пуассона (показателя адиабаты) для воздуха по формуле

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2} = 1,39.$$

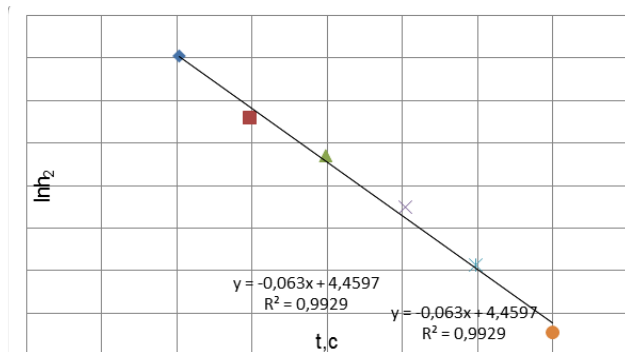


Рис.2. График зависимости  $\ln h(t)$

#### 4. Проверка второго начала термодинамики

Для выполнения эксперимента по проверке второго начала термодинамики на данной установке используются оба рабочих сосуда установки, соединенные капилляром. При этом краны K1 и K2 закрыты.

В сосуде А насосом создается некоторое начальное избыточное давление, благодаря чему в общей системе, состоящей из обоих сосудов, возникает неравновесное состояние.

Энтропия такой системы  $S$  уменьшается по отношению к равновесному состоянию  $S_{равн}$  на некоторую величину  $\Delta S$ .

Если кран РК открыть, то воздух из сосуда А будет переходить через капилляр в сосуд В, система будет переходить в равновесное состояние, энтропия в соответствии со вторым началом термодинамики будет расти, а  $\Delta S$  будет уменьшаться.

Термодинамическую вероятность системы в начальном состоянии можно найти по формуле [3]

$$\Omega = \frac{(N_1 + N_2)!}{N_1! N_2!}, \quad (3)$$

где  $N_1$  и  $N_2$  – число молекул в сосудах А и В соответственно.

Это выражение преобразуется следующим образом:

1. Факториалы преобразуются по формуле Стирлинга:  $N! = \sqrt{2\pi} \cdot N^{0,5} \cdot N^N \cdot e^{-N}$  [4].

2. Выражение (3) логарифмируется в соответствии с формулой Больцмана:  $S = k \cdot \ln \Omega$ , где  $k$  – постоянная Больцмана.

3. Выделяются и опускаются малозначимые слагаемые.

4.  $N_1$  и  $N_2$  выражаются из основного уравнения молекулярно-кинетической теории идеального газа ( $P = n \cdot k \cdot T = \frac{N}{V} \cdot k \cdot T$ ) через давления  $P_1$  и  $P_2$ .

После этих математических преобразований получается следующее выражение для энтропии  $S$  системы:

$$S = \frac{V}{T} \cdot \left[ P \cdot \ln \left( 1 + \frac{P_2}{P_1} \right) + P_2 \cdot \ln \left( 1 + \frac{P_1}{P_2} \right) \right]. \quad (4)$$

Отметим, что в равновесии, когда  $P_1 = P_2 = P$ , это выражение принимает вид

$$S_{равн} = \frac{V}{T} \cdot P \cdot 2 \cdot \ln 2. \quad (5)$$

Для дальнейших преобразований формулы (4) учитывается, что  $P_1 = P_2 + \Delta P$ .

Так как реально разность давлений газа  $\Delta P$  в сосудах лабораторной установки составляет  $\sim 10$  см в.с. (это  $\sim 1/100$  от атмосферного внешнего давления), то  $\Delta P \ll P$ .

С учетом этого алгебраические преобразования формулы (4) приводят к следующему конечному результату:

$$S = \frac{P \cdot V}{T} \cdot 2 \cdot \ln 2 - \frac{V}{P \cdot T} \cdot \Delta P^2 = S_{равн} - \Delta S. \quad (6)$$

Таким образом, изменение энтропии  $\Delta S$  при создании между сосудами разности давлений  $\Delta P$  составляет

$$\Delta S = \frac{V}{P \cdot T} \cdot \Delta P^2. \quad (7)$$

Следовательно, при переходе системы к равновесному состоянию  $\Delta P$  и  $\Delta S$  уменьшаются, и энтропия системы стремится к  $S_{равн}$ .

Ниже в табл. 3 приведены результаты экспериментальных измерений изменения энтропии при переходе системы в равновесное состояние с использованием формулы (7).

Таблица 3

Результаты экспериментальных измерений и расчетов

Время $t$ , с	0	20	40	60	80	100	120
$\Delta h$ , см	23,6	17,3	11,8	8,3	5,7	4,0	2,9
$\Delta S \cdot 10^{-4}$ , Дж/К	34,6	15,0	7,0	3,4	1,6	0,8	0,4

По экспериментальным данным, полученным в ходе выполнения работы на данной установке, можно построить график зависимости  $\Delta S(t)$  (рис.3), из которого видно, что при переходе системы в равновесие энтропия системы возрастает, что и доказывает справедливость второго начала термодинамики.

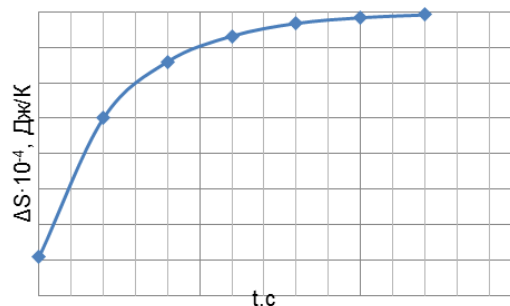


Рис.3. График зависимости  $\Delta S(t)$

Таким образом, данная комплексная лабораторная установка позволяет экспериментально определить коэффициент вязкости воздуха, коэффициент Пуассона методом Клемана и Дезорма и исследовать изменение энтропии при переходе неравновесной системы в состояние равновесия.

#### Список литературы

1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика: Лабораторный практикум по физике / под ред. Ю.П. Кочкина.

#### Сведения об авторах

**Кочкин Юрий Павлович** – канд. техн. наук, доц. кафедры физики ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519)29-84-70.

**Богачева Ирина Юрьевна** – ст. преп. кафедры физики ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519)29-84-70. E-mail: antares-16@mail.ru

---

---

### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

---

---

#### INTEGRATED INSTALLATION LABORATORY STUDIES ON MOLECULAR PHYSICS AND THERMODYNAMICS

**Kochkin Yuri Pavlovich** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: 8(3519)29-84-70.

**Bogacheva Irina Yurievna** – Assistant Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: 8(3519)29-84-70. E-mail: antares-16@mail.ru

**Abstract.** *The article presents the organization and function of complex systems for laboratory work in the "Molecular physics and thermodynamics" section. It also presents the results of determination of viscosity, Poisson's ratio for air and the result of re-searching of entropy change in the transition of non-equilibrium to equilibrium state.*

**Keywords:** *coefficient of viscosity of air, Poisson's ratio, the method of Clement and Dezorma, entropy, entropy increase.*

#### References

1. *Mehanika*. [Mechanics. Molecular physics and thermodynamics. Laboratory workshop on physics]: Ed. Y.P. Kochkin. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2011, 103 p.
2. I.V. Savelyev. *Kurs obschey fiziki. T. 1. Mehanika, kolebaniya i volny, molekulyarnaya fizika* [General physics course. Vol. 1. Mechanics, Waves, molecular physics. The manual for high schools]. Moscow: Science, 1982. 496 p.
3. Sevastyanov B.A. *Kurs teorii veroyatnostey i matematicheskoy statistiki* [The probability theory course and mathematical statistics. The manual for high schools]. Moscow: Science, 1982. 256 p.
4. Smirnov V.I. *Kurs vysshey matematiki* [The course of higher mathematics. The manual for high schools]. Moscow: Science, 1974. 324 p.



## 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, аннотация, ключевые слова, текст, литературу, сведения об авторах. Пример оформления статьи приведен в **Приложении 1**.
- аннотация (*Abstracts*) (150-250 слов), выполняется *курсивом* (*аннотация должна быть выстроена по принципу автореферата диссертации или просто логически выстроенной*);
- 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, аннотации, 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****Аннотация.** 150-250 слов**Ключевые слова:** 5-15 основных терминов

Текст статьи

Список литературы

Сведения об авторах

Stolyarov A. M., Shevchenko Y. A.

**IMPROVING THE QUALITY OF NARROW FACES CONTINUOUS SLAB BILLET****Abstract.** 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; опублик. 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).**