



ЛИТМЕТЭКСПО-2018

Международная выставка литейного производства и металлургических технологий

Выставка проходит одновременно с выставкой Машиностроение-2018

10-13 апреля 2018

пр-т Победителей, 20/2, Минск, Беларусь

Организаторы:

ЗАО «МинскЭкспо»

Ассоциация литейщиков и металлургов Республики Беларусь

При поддержке:

-Министерства промышленности Республики Беларусь

-Национальной академии наук Беларуси

-Белорусского национального технического университета

-Международной ассоциации литейщиков

Тематика:

- Материалы литейного производства
- Технологии и оборудование литейного производства
- САПР и моделирование литейных и металлургических технологий
- Прокатное и метизное производства
- Трубное производство
- Листопрокатное производство
- Прокатные станы, кузнечнопрессовое оборудование
- Оборудование для инжекционного формования
- Электроплавка стали и чугунов
- Специальные виды литья
- Подготовка шихтовых материалов и плавильное оборудование
- Переработка вторичного сырья, утилизация отходов
- Вторичная обработка сплавов
- Очистка газовых выбросов, технологии защиты окружающей среды
- Автоматизация управления производственными процессами, информационные технологии
- Контрольно-измерительное оборудование и технологии
- Промышленное оборудование и технологии термообработки
- Вспомогательное оборудование для металлургического производства
- PVD, CVD – покрытия
- Транспортировка и хранение, логистика
- Подготовка и повышение квалификации персонала
- Продукция металлургического производства
- Отраслевые издательства, специализированная литература

ЗАО «Минскэкспо»

220035, Республика Беларусь

г. Минск, ул. Тимирязева, 65

Тел./Факс: (+375 17) 226-91-93

Факс: (+375 17) 226-91-92

E-mail: metall@minskexpo.com

www.minskexpo.com

Руководитель проекта:

ДЕМИДОВИЧ Николай Иванович

Ассоциация литейщиков и металлургов Республики Беларусь

220013, Республика Беларусь

г. Минск, ул. Я. Коласа, 24, комната 8.

Тел./Факс: (+375 17) 292 74 75, 331 11 16
292 50 60

E-mail: alimrb@tut.by

www.alimrb.by

ПОЗДРАВЛЯЕМ!

С ИЗБРАНИЕМ ЧЛЕНОМ-КОРРЕСПОНДЕНТОМ НАН БЕЛАРУСИ



МАЛЯРЕВИЧА АЛЕКСАНДРА МИХАЙЛОВИЧА

Доктора физико-математических наук, профессора,
проректора по научной работе БНТУ

*Примите самые искренние поздравления и самые добрые пожелания
в связи с избранием Вас членом-корреспондентом НАН Беларуси.
Это событие – закономерная оценка Вашего весомого вклада в развитие науки.
Вы не только видный ученый, но и крупный организатор высшей школы.
Желаем Вам дальнейших творческих и служебных успехов, крепкого здоровья
и благополучия в жизни.*

*Редакция журнала «Литье и металлургия»
Ассоциация литейщиков и металлургов*

Юбилеем,

**Николай Иванович
ИВАНИЦКИЙ**

(к 70-летию со дня рождения)



Редакция Журнала «Литье и металлургия» и Ассоциация литейщиков и металлургов и горячо и сердечно поздравляют Вас с 70-летием со дня рождения.

*Пусть будет этот юбилей
Незабываемым из дней –
Улыбок полон и цветов
И благодарных теплых слов!
Пусть в радости идут года,
Чтоб в жизни были навсегда
Здоровье, счастье и успех,
Удача в начинаньях всех!*

В день Вашего славного юбилея примите от нас, уважаемый Николай Иванович, самые наилучшие пожелания крепкого здоровья, долгих лет жизни, большого личного счастья, вдохновения, свершения всех надежд.

*Редакция Журнала «Литье и металлургия»
Ассоциация литейщиков и металлургов*

4 (89) '2017

ЛИТЬЕ И МЕТАЛЛУРГИЯ

Ежеквартальный научно-производственный журнал. Выпускается на русском, с аннотацией на английском языке; распространяется в БЕЛАРУСИ, РОССИИ, УКРАИНЕ, ЛИТВЕ, КАЗАХСТАНЕ, а также в ЧЕХИИ, ПОЛЬШЕ, ГЕРМАНИИ, ФРАНЦИИ. Журнал издается с января 1997 г. Выходит 4 раза в год.

УЧРЕДИТЕЛИ

Белорусский национальный технический университет
ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»
Ассоциация литейщиков и металлургов
ОАО «БЕЛНИИЛИТ»
ОАО «ГОМЕЛЬСКИЙ ЛИТЕЙНЫЙ ЗАВОД «ЦЕНТРОЛИТ»
ГНУ «Институт технологии металлов Национальной академии наук Беларуси»
ОАО «Минский тракторный завод»
ОАО «Могилевский металлургический завод»
ОАО «Речицкий метизный завод»

ИЗДАТЕЛЬ

Белорусский национальный технический университет

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДСОВЕТА

Савенок А. Н., ген. директор ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»

ЗАМ. ПРЕДСЕДАТЕЛЯ РЕДСОВЕТА

Марукович Е. И., акад. НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф., Лауреат Госпремий БССР и РБ, Заслуженный изобретатель РБ

РЕДСОВЕТ

Хрусталева Б. М.
Анеликин Н. И.
Мельников А. П.
Сайков М. А.
Карась А. Н.
Николайчик Ю. А.
Самончик В. Г.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Марукович Е. И., акад. НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф., Лауреат Госпремий БССР и РБ, Заслуженный изобретатель РБ

ОСНОВАТЕЛЬ ЖУРНАЛА

Кукуй Давид Михайлович, д-р техн. наук, проф., Лауреат Госпремии БССР

Редакция не несет ответственности за содержание рекламных объявлений. Перепечатка материалов, публикуемых в журнале «Литье и металлургия», осуществляется только с разрешения редакции.

СОДЕРЖАНИЕ

Подписной индекс 75034

КОНФЕРЕНЦИЯ

25-я Международная научно-техническая конференция «Литейное производство и металлургия 2017. Беларусь» 5

МЕТАЛЛУРГИЯ

Савенок А. Н., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»
Состояние и перспективы развития металлургического производства Республики Беларусь 10
Белаш В. В., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»
Синтетический подход к разработке технологии изготовления холоднодеформированной арматуры с учетом требований ТНПА и потребностей рынка 16
Ахметов Т. А., Ходосовский А. В., Мазаник А. В., Козырева Ю. И., Локтионова Л. В., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»
Анализ требований к качественным характеристикам холоднодеформированной арматуры класса Вр500 20
Бондаренко И. А., Ковалева И. А., Терещенко А. В., Феклистов А. В., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»
Освоение производства непрерывнолитой заготовки диаметром 200 мм из хромомолибденовых марок стали для производства бесшовных труб в условиях ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» 23
Серегина Е. С., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»
Обрывность проволоки во время волочения по причинам наличия поверхностных дефектов, наследованных с катанки 26
Ядченко Д. С., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»
Опыт использования рекуперативных горелочных устройств в печах периодического действия для термообработки заготовок в СПЦ-2 ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» 32
Шинкарев А. С., Гапоненко Е. В., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»
Тепловизионный и вибрационный методы контроля и диагностики оборудования на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» 37
Золотухин В. И., Головкин А. Г., Гордеев Е. И., Проворотов Д. А., НПП «Вулкан-ТМ»
Сталеразливочные системы нового поколения для металлургических производств 42
Корнеев С. В., Трусова И. А., БНТУ
Управление шлаковым режимом в электродуговых печах 48

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Шинский О. И., ФТИМиС НАН Украины, Марукович Е. И., ИТМ НАН Беларуси, Шалевская И. А., Шинский В. О., Клименко С. И., ФТИМиС НАН Украины
Экономика, экология, организация производств литья по газифицируемому модели 53
Шинский О. И., ФТИМиС НАН Украины, Марукович Е. И., ИТМ НАН Беларуси, Дорошенко В. С., Калужный П. Б., ФТИМиС НАН Украины
Регулирование свойств литых конструкций интенсификацией теплообмена в литейной форме с газифицируемой моделью 60
Марукович Е. И., Стеценко В. Ю., ИТМ НАН Беларуси
Наноструктуризация в литейных процессах 68
Федосов А. В., ООО «Ростовский литейный завод», Чумаченко Г. В., Донской государственный технический университет
Опыт применения систем компьютерного моделирования для увеличения эффективности литейного производства на ООО «РЛЗ» 72
Панасюгин А. С., Григорьев С. В., Теран А. И., БНТУ, Цыганов А. Р., БГТУ, Машерова Н. П., Военная академия РБ, Павловский Н. Д., Гродненский государственный медицинский университет
Влияние химической обработки оборотной воды производства минеральной ваты на ее солесодержание и степень осветления 77
Одарченко И. Б., Жаранов В. А., Прусенко И. Н., ГГТУ им. П. О. Сухого
Оптимизация гидродинамики литниково-питающих систем с использованием нейросетевых методов классификации технологических параметров 84
Одарченко И. Б., Прусенко И. Н., ГГТУ им. П. О. Сухого
Роль огнеупорного наполнителя в процессах структурообразования стержневых смесей 89

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Марукович Е. И. (гл. редактор), акад. НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф. (Беларусь)

Иваницкий Н. И. (зам. гл. редактора), канд. техн. наук (Беларусь)

Анелкин Н. И. (зам. гл. редактора по металлургии) (Беларусь)

Бевза В. Ф., канд. техн. наук (Беларусь)

Гордиенко А. И., акад. НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф. (Беларусь)

Дибров И. А., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Иванов И. А., д-р техн. наук, проф. (Беларусь)

Калиниченко А. С., д-р техн. наук (Беларусь)

Константинов В. М., д-р техн. наук, проф. (Беларусь)

Клубович В. В., акад. НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф. (Беларусь)

Крамер О. М. (Германия)

Ловшенко Г. Ф., д-р техн. наук, проф. (Беларусь)

Ли Джон-Хун, проф. (Республика Корея)

Маяускас Э. П., д-р наук (Литва)

Найдек В. Л., акад. НАН Украины, д-р техн. наук, проф. (Украина)

Немененок Б. М., д-р техн. наук, проф. (Беларусь)

Николайчик Ю. А., канд. техн. наук (Беларусь)

Нофал А. проф. (Египет)

Пантелеев Ф. И., чл.-корр. НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф. (Беларусь)

Перетягина Е. А. (Беларусь)

Син Кван Сон, проф. (Республика Корея)

Стеценко В. Ю., канд. техн. наук (Беларусь)

Чой Ки-Йонг, проф. (Республика Корея)

Чой Чжон Кил, проф. (Республика Корея)

РЕДАКЦИЯ

Машканова С. В. (редактор)

Вольнец П. В. (компьютерная верстка, дизайн)

Голосюк Н. В. (менеджмент)

Соболев В. Е. (перевод)

АДРЕС РЕДАКЦИИ

Беларусь, 220013, Минск,
пр. Независимости, 65,
тел.: (017) 292-74-75
тел./факс: (017) 331-11-16.
E-mail: limrb@tut.by. Web: www.limrb.by

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь. Свидетельство о регистрации № 1244 от 31 мая 2012 г.

Подписано в печать 9.012.2017.

Выход в свет 30.12.2017.

Формат 60x84%.

Цена свободная

Бумага офсетная

Печать цифровая

Усл. печ. л. 00,0

Уч.-изд. л. 00,00

Тираж 150 экз.

Заказ 000000

Отпечатано в БНТУ

Лицензия ЛП № 02330/74 от 03.03.2014.
220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65

© Белорусский национальный технический университет, 2017

Ровин С. Л., УП «Технолит», Ровин Л. Е., Заяц Т. М., Валицкая О. М., ГТТУ им. П. О. Сухого

Переработка стружки черных металлов 94

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Ловшенко Ф. Г., ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», Ловшенко Г. Ф., УО «Белорусская государственная академия авиации», Хабибуллин А. И., ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»

Влияние механически сплавленных модифицирующих лигатур на структуру и свойства сварных соединений. 102

Трибушевский Л. В., Немененок Б. М., Румянцев Г. А., Горбель И. А., БНТУ

Безотходная технология переработки алюминиевой стружки и шлаков в короткопламенной роторной печи. 109

Анисович А. Г., ГНУ ФТИ НАН Беларуси

Оптические эффекты при микроскопии металлов и неметаллических материалов 119

ОХРАНА ТРУДА

Короткевич И. В., Пайкова Е. П., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»

Применение результатов аттестации рабочих мест по условиям труда на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК». 126

Лазаренков А. М., БНТУ

Оценка условий труда работающих в литейных цехах с массовым характером производства 134

ЭКОЛОГИЯ

Шаповалов Ю. П., Галибус А. С., Сударев А. И., ООО «Газоочистка инжиниринг», Глушень Е. М., Нагорный Р. К., ГНУ «Институт микробиологии НАН Беларуси»

Защита атмосферного воздуха литейных предприятий от загрязнения вредными органическими веществами 138

НОВОСТИ

Антомошкин А. Ю., ООО «Инновационный центр производственной оптимизации»

Опыт внедрения системы энергоменеджмента по методологии ЮНИДО в России. 143

Байрашевский В. А., Госпромнадзор МЧС РБ

Разработка деклараций промышленной безопасности для объектов литейного и металлургического производств. Анализ риска аварий 148

Памяти Алексея Петровича Мельникова 150

Приказом ВАК от 04.07.2005 г. № 101 журнал «Литье и металлургия» включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь. С февраля 2016 г. журнал принят во Всемирную информационную электронную сеть «Директория журналов открытого доступа» (DOAJ). В мае 2016 г. выдан сертификат качества, который является рекомендацией к подаче заявки в базу данных SCOPUS.

4 (89) '2017

FOUNDRY PRODUCTION AND METALLURGY

Quartely Journal

Issued in Russian with annotations in English.

Foundry Production and Metallurgy Journal is distributed throughout Belarus, Russia, the Ukraine, Kazakhstan, Baltic States, Czech Republic, Slovakia, Poland, Germany and France.

The Journal has been published since January 1997.

Issued four times a year.

FOUNDERS

Belarusian National Technical University

OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC»

Association of Foundrymen and Metallurgists

Public corporation «BELNIILIT»

Public corporation «GOMEL FOUNDRY «TSENTROLIT»

State scientific enterprise «Institute of Technology of Metals of National Academy of Sciences of Belarus»

Public corporation «Minsk traktor plant»

Public corporation «Mogilev metallurgical plant»

Public corporation «Rechitsa metizny plant»

PUBLISHER

Belarusian National Technical University

CHAIRMAN OF EDITORIAL COUNCIL

Savenok A. N., general director of OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC»

DEPUTY CHAIRMAN

OF THE EDITORIAL COUNCIL

Marukovich E., Academician of NAS RB, Dr. of Engineering Sciences, Professor, Laureate of State Prize of BSSR and RB, Honoured Inventor of Belarus

EDITOR IN CHIEF

Marukovich E., Academician of NAS of RB, Dr. of Engineering Sciences, Professor

EDITORIAL COUNCIL

Khrustalev B.

Anel'kin N.

Melnikov A.

Saykov M.

Karas A.

Nikolaichik Yu.

Samonchik V.

ESTABLISHER OF THE JOURNAL

Kukuj D., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Laureate of State Prize of BSSR

No portion of the Foundry Production and Metallurgy Journal may be reproduced without written consent. The views and opinions, expressed in the articles, statements and advertisements are those of respective authors and companies and Foundry Production and Metallurgy Journal does not accept responsibility for these statements made and opinions expressed in the Journal.

CONTENTS

Subscription 75034

METALLURGY

The Jubilee XXV-th international conference «Foundry production and metallurgy 2017. Belarus»	7
Savenok A. N., OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC» Status and prospects of development of metallurgical production in Belarus	10
Belash V. V., OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC» Synthetic approach to the development of technology for manufacture of cold-deformed reinforcements in accordance with the requirements of technical regulations and market	16
Akhmetov T. A., Khodosovsky A. V., Mazanik A. V., Kozyreva Yu. I., Loktionova L. V., OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC» Analysis of the requirements for the quality characteristics of cold-formed reinforcement of class Bp500	20
Bondarenko I. A., Kovalenko I. A., Tereshchenko A. V., Feklistov A.V., OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC» Mastering the production of a continuous casting billet diameter 200 mm from chrome-molybdenum steel grades for the production of seamless pipes at the OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC»	23
Siarohina E. S., OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC» Wire breakage during wire drawing due to the presence of surface defects, inherited from wire rod.	26
Jadchenko D. S., OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC» Experience of use recuperative burners devices in furnaces of periodic action for heat treatment of preparations in SPC-2 OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC»	32
Shinkarev A. S., Gapeenko E. V., OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC» Ir imaging and vibratory methods of control and diagnostics of the equipment at OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC»	37
Zolotukhin V. I., Golovko A. G., Gordeev E. I., Provorotov D. A., SPE «Vulkan-TM» New-generation stainless steel systems for metallurgical production.	42
Korneev S. V., Trusova I. A., Belarusian National Technical University Management of the slag adjustment in arc furnaces	48

FOUNDRY

Shinsky O. I., Physico-technological Institute of metals and alloys of NAS of Ukraine, Marukovich E. I., Institute of technology of metals of NAS of Belarus, Shalevskaja I. A., Shinsky V. O., Klimenko S. I., Physico-technological Institute of metals and alloys of NAS of Ukraine Economy, ecology, organization of foundry production by lost foam casting	53
Shinsky O. I., Physico-technological Institute of metals and alloys of NAS of Ukraine, Marukovich E. I., Institute of technology of metals of NAS Belarus, Doroshenko V. S., Kaluzny P. B., Physico-technological Institute of metals and alloys of NAS of Ukraine Regulating of cast constructions properties by intensifying heat exchange in mold with gasified pattern	60
Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu., Institute of Technology of Metals of National Academy of Sciences of Belarus Nanostructurization in foundry processes	68
Fedosov A. V., «JSC Rostov foundry», Chumachenko G. V., Don State Technical University Application experience of computer simulation systems to increase the efficiency of foundry production at the rostov foundry	72
Panasuyugin A. S., Grigor'ev S. V., Teran A. I., Belarusian National Technical University, Tsyganov A. R., Belarusian State Technological University, Masherova N. P., Military Academy of the Republic of Belarus, Pawlowski N. D., Grodno State Medical University The effect of chemical treatment of recycled water in the production of mineral wool on its salinity and lightness	77
Odarchenko I. B., Zharanau V. A., Prusenko I. N., Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoj Optimization of the hydrodynamics of gating-feeding systems in accordance with the use of neuro networks methods of classification of technological parameters	84
Odarchenko I. B., Prusenko I. N., Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoj The role of refractory filler in the processes of structural formation of core mixtures	89

EDITORIAL BOARD

- Marukovich E. (editor in chief), Academician of NAS of Belarus, Dr. of Technical Sciences, Professor (Belarus)
 Ivanitsky N., (Deputy Editor for foundry), Candidate of Technical Sciences (Belarus)
 Anel'kin N. (Deputy Editor for metallurgy) (Belarus)
 Bezva V., Candidate of Technical Sciences (Belarus)
 Gordienko A., Academician of NAS of Belarus, Dr. of Technical Sciences, Professor (Belarus)
 Dibrov I., Dr. of Technical Sciences, Professor (Russia)
 Ivanov I., Dr. of Technical Sciences, Professor (Belarus)
 Kalinichenko A., Dr. of Technical Sciences (Belarus)
 Konstantinov V., Dr. of Technical Sciences, Professor (Belarus)
 Klubovich V., Academician of NAS of Belarus, Dr. of Technical Sciences, Professor (Belarus)
 Kramer O. M. (Germany)
 Lovshenko G., Dr. of Technical Sciences, Professor (Belarus)
 Lee Jong-Hoon, Professor (Korea)
 Mayauskas E., Dr. of Technical Sciences (Lithuania)
 Nofal A., Professor (Egypt)
 Neideck V., Academician of NAS of Ukraine, Dr. of Technical Sciences, Professor (Ukraine)
 Nemenenok B., Dr. of Technical Sciences, Professor (Belarus)
 Nikolaichik Yu., Candidate of Technical Sciences (Belarus)
 Panteleenko F., Corresponding Member of NAS of Belarus, Dr. of Technical Sciences, Professor (Belarus)
 Peretyagina E. (Belarus)
 Shin Kwang Seon, Professor (Korea)
 Stetsenko V., Candidate of Technical Sciences (Belarus)
 Choi Ki Yong, Professor (Korea)
 Choi Jeong Kil, Professor (Korea)

EDITORIAL STAFF

- Mashkanova S. (Editor)
 Volynets P. (computer layout, design)
 Golosuk N. (management)
 Sobolev V. (translation)

ADDRESS OF EDITORIAL STAFF

Nezavisimosti ave., 65,
 220013, Minsk
 Tel.: (017) 292-74-75
 Tel./fax (017) 331-11-16,
 E-mail: limrb@tut.by Web: limrb.by
 The magazine is registered in the Ministry of information of the Republic of Belarus
 Certificate of registry No 1244 dated May 31, 2012.
 Format 60x84%. Free price.

Offset paper
 Digital printing
 Base print pages 00,0
 Account. publ. pages 00,00
 Circulation 150 copies
 Order 000000

Printed in BNTU
 Permit LP No 02330/74 dated 03.03.2014
 65, Nezavisimosti ave., Minsk, 220013

- Rovin S. L., Technolit Co, Rovin L. E., Zayac T. M., Valickaya O. M., Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoj
 Recycling of ferrous metal shavings 94

SCIENCE OF MATERIALS

- Lovshenko F. G., Belarussian-Russian University, Lovshenko G. F., Belarussian State Academy of Aviation, Khabibulin A. I., Belarussian-Russian University
 The influence of mechanically alloyed modifying master ligatures on structure and properties of welded joints 102
 Tribushevskiy L. V., Nemenenok B. M., Rumiantseva G. A., Gorbil I. A., Belarussian National Technical University
 Wasteless technology of processing of aluminum chips and slags in a short-flame rotary furnace 109
 Anisovich A. G., Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus
 Optical effects at metallic and nonmetallic materials microscopy 119

PROTECTION OF LABOUR

- Korotkevich V. I., Pajkova E. P., OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC»
 Applicability of the results of certification of workplaces on working conditions at OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC» 126
 Lazarenkov A. M., Belarussian National Technical University
 Assessment of working conditions in foundries with the mass production 134

ECOLOGY

- Shapovalov Yu. P., Galibus A. S., Sudarev A. I., LLC Gazoochistka engineering, Glushen E. M., Nagorny R. K., Institute of a microbiology of National Academy of Sciences of Belarus
 Protection of the air of the foundry enterprises against pollution of harmful organic matters 138

NEWS

- Antomoshkin A. Yu., Innovation Center for Production Optimization LLC (ICPO)
 Experience in the implementation of the energy management system based on UNIDO methodology in Russia 143
 Bayrashevskiy V. A., Gospromnadzor, Ministry of Emergency Situations of Belarus
 Development of declarations of industrial safety of foundry and metallurgical productions' objects. Analysis of the risk of accidents 148

The Journal «Foundry Production and Metallurgy» is included in the List of scientific publications of the Republic of Belarus by VAK (Supreme Attestation Commission) Order # 101 of 04.07.2005. The Journal is accepted to the Worldwide information electronic network «Directory of Open Access Journals» (DOAJ) since February 16, 2016. The quality certificate - recommendation for application of the Journal to the SCOPUS database is granted in May 2016.



ЮБИЛЕЙНАЯ 25-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО И МЕТАЛЛУРГИЯ 2017. БЕЛАРУСЬ»

Стало уже традицией в столице Беларуси осенью проводить ежегодные встречи литейщиков и металлургов. 18–19 октября в г. Минске в научно-технологическом парке БНТУ «Политехник» состоялась юбилейная 25-я Международная научно-техническая конференция «Литейное производство и металлургия 2017. Беларусь». Одновременно с конференцией проходила информационная выставка литейного производства и металлургических технологий, в которой участвовали представители из Беларуси (ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», ГНУ «Институт технологии металлов НАН Беларуси», ОАО «Минский механический завод им. С. И. Вавилова», ОАО «БЕЛНИИЛИТ», УП «Технолит», «Промышленные экологические системы»), России (ООО «Остек-АртТул») и стран дальнего зарубежья («Furtenbach», Австрия, DISA, Pour-Tech AB, «Zanardi Fonderie», Италия, «HWS», Германия).

Юбилейная конференция стала одним из самых запоминающихся мероприятий года. В ней участвовало более 150 специалистов из Беларуси, России, Украины, Латвии, Великобритании, Австрии, Чехии, Германии, Италии, Великобритании, Словакии, Польши, Египта, Болгарии, ученых из институтов НАН Беларуси (ИТМ, ФТИ, ОИМ), представителей технических вузов нашей страны (БНТУ, ГГТУ им. П. О. Сухого), России (МИСиС), дальнего зарубежья (университет SWANSEA, Великобритания, Центральный научно-исследовательский металлургический университет, Египет).

Впервые на конференции присутствовал и выступил Генеральный секретарь Всемирной организации литья (WFO) Эндрю Тернер (Великобритания). В 2010 г. Ассоциация литейщиков и металлургов Республики Беларусь была принята в число членов старейшей Всемирной организации литейщиков, объединяющей ассоциации 30 стран мира (Германия, США, КНР, Индия, Италия, Франция и др.). На конференцию приехало немало представителей иностранных фирм и компаний: президент фирмы Занарди Фабио (фирма «Zanardi Fonderie», Италия, наш давний друг и партнер Петер Чандл (фирма «Engineering Consultants Tschandl», Австрия, Олаф Крамер (фирма «HWS», Германия), Мауро Фасино (фирма «Italtresse Gauss», Италия), Тадеуш Франашек и Катаржина Лизка (Президент и Генеральный секретарь Польской ассоциации литейщиков), профессор Центрального научно-исследовательского металлургического института Адель Нофал (Египет), профессор Стивен Браун, ректор Инженерного института университета SWANSEA (Великобритания) и сотрудник этого института г-н Р. Рэнсинг и др.

Открыл конференцию академик НАН Беларуси, д-р техн. наук, профессор, дважды Лауреат Госпремий, Заслуженный изобретатель РБ, зам. председателя Ассоциации литейщиков и металлургов РБ Е. И. Марукович.

На пленарном заседании в президиуме конференции, помимо руководителя оргкомитета генерального директора ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» председателя АЛМ А. Н. Савенка, присутствовали заместитель Премьер-министра Республики Беларусь В. И. Семашко, ректор БНТУ, д-р техн. наук С. В. Харитончик, Президент Российской ассоциации литейщиков, д-р техн. наук, профессор И. А. Дибров, Генеральный секретарь Всемирной организации литья (WFO) Эндрю Тернер (Великобритания).

С приветственным словом выступили генеральный директор ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» А. Н. Савенок, ректор Белорусского национального технического университета С. В. Харитончик.

Большой интерес и внимание вызвало выступление заместителя Премьер-министра Республики Беларусь В. И. Семашко, который озвучил планы модернизации крупных литейных производств Беларуси на 2017–2030 гг. Были отмечены наиболее значимые проекты:

1. Модернизация литейного производства ОАО «МАЗ – управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ТОМАЗ».

2. Модернизация литейного производства ОАО «МТЗ».

3. Модернизация литейного производства ОАО «Могилевлифтмаш».

Оптимизация и модернизация литейных производств позволит снизить производственные затраты, поэтапно минимизировать импорт литья, внедрить передовые технологии, повысить качество выпускаемой продукции.

Анализ состояния литейной промышленности во всем мире, политические и экономические факторы, которые затрагивают спрос и предложение на литейную продукцию, деятельность основных стран-производителей представил в своем докладе «Глобальное состояние литейной промышленности» Генеральный секретарь Всемирной организации литья господин Эндрю Тернер (Великобритания).

Краткий анализ состояния и перспектив развития металлургического комплекса Республики Беларусь был дан в докладе генерального директора ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» А. Н. Савенка. Было отмечено, что сегодня можно говорить о том, что реальный сектор экономики Беларуси вышел из затяжной рецессии, обусловленной негативными мировыми макроэкономическими процессами, и вступил в период устойчивого роста.

Важный вопрос – энергоэффективность на предприятиях отрасли. Поэтому большой интерес у слушателей вызвал доклад представителя ЮНИДО (Организация ООН по промышленному развитию) А. Ю. Антомошкина «Энергоменеджмент – слово или дело? Опыт внедрения в России». В докладе были отражены результаты работ по проекту ЮНИДО в Российской Федерации, в том числе впечатляющий экономический эффект (свыше 1,1 млрд. российских рублей), полученный на Магнитогорском металлургическом комбинате.

О перспективах развития литейного производства в России рассказал Президент Российской ассоциации литейщиков И. А. Дибров.

Новое оборудование фирмы DISA представил Д. Ю. Самохвалов (Представительство фирмы DISA в России), с интересом были выслушаны аналогичные выступления представителей фирм HWS (Германия), Zanardi и Italtipresse (Италия).

Аспекты литейного производства в Польше по сравнению с Европой и миром были показаны в докладе Катаржины Лизка, Генерального секретаря Польской ассоциации литейщиков.

Участники конференции предоставили разнообразную программу докладов, информационных сообщений, выступлений, в которых отразили всю палитру литейного производства и металлургии как субъектов машиностроительного комплекса. На пленарном заседании были заслушаны серьезные доклады, расширяющие наши представления по отдельным направлениям литейного производства.

Всего на пленарном заседании было заслушано 11 докладов.

Привлекли внимание участников конференции секции («Литейное производство» и «Металлургия») и круглые столы.

1. Литье алюминиевых сплавов (руководитель – д-р техн. наук, профессор НИТУ МИСиС, Россия, В. Д. Белов).

2. Технологии, свойства и применение отпущенного высокопрочного чугуна (руководитель – профессор Центрального научно-исследовательского металлургического института, Египет, Адель Нофал).

3. Прокат ОАО «БМЗ», производимый согласно европейским стандартам для машиностроительных предприятий (руководитель – начальник исследовательского центра ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», Беларусь, А. В. Венгура).

За время работы Конференции было представлено 66 докладов и презентаций.

Яркое событие конференции – церемония награждения Лауреатов Премии Ассоциации литейщиков и металлургов (АЛиМ) с вручением дипломов и «Бронзовой статуэтки литейщика». Эта Премия является важной составляющей укрепления научных связей и стимулом развития новых перспективных направлений.

Диплом Лауреата Премии АЛиМ и бронзовая статуэтка в номинации «Лучший инновационный проект, внедренный на литейном и металлургическом производствах, направленный на повышение качества продукции, энерго- и ресурсосбережение», были вручены ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» за внедрение комплекса производства черновых осей на ОАО «Могилевский металлургический завод».

В номинации «Лучшая научно-производственная работа молодого инженера» (премия им. Д. М. Кукуя) была отмечена работа инженера-технолога 2-й категории прокатного отдела технического управления ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», магистра технических наук (металлургия)

Арсения Игоревича Пости за исследование влияния скоростных режимов прокатки на износостойкость прокатных валков черновой группы клетей стана 370/150.

За вклад в создание и развитие научно-технических основ, производственной базы, технологии и оборудования для рециклинга дисперсных отходов черных и цветных металлов дипломом АЛиМ и бронзовой статуэткой был награжден директор УП «Технолит», кандидат технических наук, доцент Сергей Леонидович Ровин.

И. А. Дибров, Президент Российской ассоциации литейщиков, вручил Е. И. Маруковичу (зам. председателя АЛиМ), С. Ф. Лукашевичу, М. А. Сайкову (директор ОАО «ГЛЗ «ЦЕНТРОЛИТ») медали Российской ассоциации литейщиков за «Верность профессии».

В номинации «За многолетнюю работу в области литейного и металлургического производств» был награжден (посмертно) директор ОАО «БЕЛНИИЛИТ», кандидат технических наук Алексей Петрович Мельников.

В торжественной обстановке были вручены памятные медали и дипломы:

- Е. И. Маруковичу, академику НАН Беларуси, д-ру техн. наук, профессору, дважды Лауреату Госпремий, Заслуженному изобретателю РБ, зам. председателя Ассоциации литейщиков и металлургов РБ «За значительный вклад в становление и развитие Ассоциации литейщиков и металлургов Республики Беларусь, организацию и проведение Международных научно-технических конференций «Литейное производство и металлургия. Беларусь»,

а также генеральным партнерам конференции:

- господину Петеру Чандлу – нашему давнему другу и партнеру, фирма «Engineering Consultants Tschandl», Австрия;

- господину Олафу Крамеру, фирма «Heinrich Wagner Sinto», Германия, оборудование которой хорошо знают в Беларуси;

- господину Фабио Занарди – Президенту фирмы «Zanardi Fonderie», Италия, одной из самых известных в мире компаний по производству изделий из отпущенного высокопрочного чугуна.

Проведенная конференция расширила взаимовыгодное сотрудничество, повысила осведомленность в области литейного и металлургических производств, помогла найти партнеров, установить новые деловые контакты.

Посмотреть фотогалерею конференции можно на сайте АЛиМ <http://alimrb.by/liteynoye-proizvodstvo-i-metallurgiya-2017-belarus>.

THE JUBILEE XXV-TH INTERNATIONAL CONFERENCE «FOUNDRY PRODUCTION AND METALLURGY 2017. BELARUS»

It has become a tradition to hold annual meetings of foundrymen and metallurgists in the capital of Belarus every fall. The Jubilee XXV-th International scientific-technical Conference «Foundry production and metallurgy 2017. Belarus» took place 18–19 October in Minsk at the Science and Technology Park of BNTU «Polytechnic». Simultaneously with the conference was organized an information exhibition of foundry production and metallurgical technologies, which was attended by representatives from Belarus (OJSC «BMZ – holding management company «BMK», SSI «Institute of technology of metals of NAS of Belarus», OJSC «Minsk mechanical plant» named after Vavilov, JSC «BELNIILIT», unitary enterprise «Tehnolit», JSC «Industrial Ecological Systems»), Russia (JSC «Ostek-ArtTul») and from other countries (Furtenbach (Austria), DISA, Pour-Tech AB, Zanardi Fonderie (Italy), HWS (Germany).

The conference was one of the most memorable events of the year. It brought together over 150 experts and scientists from Belarus, Russia, Ukraine, Latvia, UK, Austria, Bulgaria, Italy, Czech Republic, Germany, Slovakia, Poland, Egypt, the scientists of the institutes of the National Academy of Sciences (NAS) of Belarus (ITM, FTI, AMI), representatives of technical universities of Belarus (Belarusian National Technical University, Gomelsky State Technical University named after Sukhoi), Russia (MISIS), other foreign countries (University of SWANSEA, UK), Central metallurgical R&D Institute (Egypt).

For the first time the conference was attended by General Secretary of the World Foundry Organization (WFO) Mr. Andrew Turner (Great Britain). In 2012 the Association of foundrymen and metallurgists of the Republic of Belarus was adopted to this world organization of founders, uniting Associations of 30 countries of

the world (Germany, USA, China, India, France, etc.). The Conference was attended by many representatives of foreign firms and companies: President of Zanardi Fonderie Mr. Zanardi Fabio (Italy), our old friend and partner Peter Tschandl (Engineering Consultants Tschandl (Austria), Olaf Kramer (HWS, Germany), Mauro Fassino (Italpresse Gauss, Italy), Tadeusz Franaszek and Katarzyna Lizka, (President and General Secretary of the Polish Foundrymen's Association), Professor of the Central Metallurgical R&D Institute Adel Nofal (Egypt), Professor S. Brown and Dr. P. Ransing (University of SWANSEA, UK) and others.

Presidium of the Conference: the Deputy Prime Minister of Belarus Semashko V. I., the General Secretary of the World Foundry Organization (WFO, UK) Andrew Turner, Rector of the BNTU, Dr. of Engineering Kharitonchik S. V., the Chairman of ALiM, General Director of OJSC «BMZ – holding management company «BMK» Savenok A. N., Academician of the NAS of Belarus, Deputy Chairman of ALiM Marukovich E. I., President of Russian Association of founders, Dr. of Engineering, Professor Dibrov I. A.

E. I. Marukovich, Academician of NAS of Belarus, Dr. of engineering, Professor, twice laureate of the state prize, Honored inventor of the Republic of Belarus, Deputy Chairman of Association of foundrymen and metallurgists of Belarus opened the Conference.

The presense of government officials demonstrates the importance the Conference.

The General Director of OJSC «BMZ – holding management company «BMK» A. N. Savenok and the rector of Belarusian national technical University V. S. Kharitonchik made welcoming words.

With great interest and attention the participants of the conference listened to the information of the Deputy Prime Minister of the Republic of Belarus V. I. Semashko. In his speech V. I. Semashko announced plans of modernization of foundry facilities in 2017–2030. The most significant projects:

1. Modernization of foundry production of JSC «MAZ – holding management company «BELAVTOMAZ».
2. Modernization of foundry of OJSC «MTW» (Minsk Tractor Works).
3. Modernization of foundry production of JSC «Mogilevliftmash» (The largest producer of elevators).

Thus, the adoption of measures for optimization and modernization of the foundry will reduce production costs, and will gradually minimize the import of the casting, introduce advanced technologies, improve product quality.

Analysis of the state of the foundry industry worldwide, political and economic factors that affect the demand for and supply of foundry products, the activities of the major foundry producer countries were presented in the profound presentation «The Global Casting Industry (Overview)» of the General Secretary of the World Foundry Organization Mr. Andrew Turner (Great Britain).

A brief analysis of the status and prospects of development of metallurgical complex of the Republic of Belarus was given in the report of the General Director of OJSC «BMZ – holding management company «BMK» A. N. Savenok. It was noted that the real economy finally emerged from a protracted recession due to the negative global macroeconomic processes, and entered into a period of sustainable growth.

Important issue is energy efficiency in the enterprise sector. Much interest among the participants caused the report of the representative of UNIDO A. Y. Antamoshkin «Energy management – just words or deed? Results of Implementation in Russia.» The results of UNIDO Project on energy management in Russia were presented, and especially the impressive economic impact (more than 1,1 billion Russian rubles) which was received in Magnitogorsk metallurgical plant due to the project's implementation.

The President of the Russian Association of founders I. A. Dibrov made interesting presentation about prospects of development of foundry production in Russia.

New equipment of the company DISA was introduced by D. Y. Samokhvalov (representative office of firm DISA, Russia).

Aspects of foundry production in Poland in comparison with Europe and the world were made in the report of Katarzyna Lizka, General Secretary of the Polish Foundrymen Association.

The conference provided a varied program of presentations, information, speeches, which reflected the whole palette of foundry production and metallurgy as subjects of mechanical engineering. At the plenary meeting heard serious reports enhance our understanding in certain areas of the foundry.

The attention of the participants of the conference was also focused on round tables:

1. Casting aluminum alloys. The Head – V. D. Belov, Dr. of Engineering, Professor «MISIS», (Russia).
2. Technology, properties and application of austempered ductile iron (ADI). The Head – Adel Nofal, Professor of the Central Metallurgical R&D Institute, (Egypt).
3. The mill products of OJSC «BMZ – holding management company «BMK», produced according to European standards for Belarus machine-building enterprises. The Head – A. V. Vengura, Chief of the research

center of OJSC «BMZ – holding management company «BMK» (Belarus).

During the work of the Conference were made 66 reports and presentations.

The highlight of the conference was the ceremony of award of the ALiM of with the diplomas and «Bronze statues of the foundryman». Prizes of the Association of foundrymen and metallurgists of the Republic of Belarus are traditionally an important component of strengthening scientific ties and boost development of new promising activities.

The diploma of the Laureate of the Prize of the Association of foundrymen and metallurgists and the bronze statuette in the nomination «The Best innovative project implemented in the foundry and metallurgical industries, aimed at improving product quality, energy and resource saving» was awarded to OJSC «BMZ – holding management company «BMK» for the construction of a complex for the production of rough axles for JSC «Mogilev metallurgical plant».

In the nomination «Best scientific-production work of a young engineer» (the prize named after D. M. Kukui) the work of engineer-technologist of rolling of the Department of technical control of OJSC «BMZ – holding management company «BMK», master of engineering (metallurgy) Arseniy I. Posti was given for a research of the impact of high-speed rolling conditions on wear resistance of the rolls of roughing stands of the Mill 370/150.

For contribution to creation and development of scientific-technical bases, production base, technologies and equipment for recycling dispersive wastes of ferrous and non-ferrous metals with a diploma and a bronze statuette of ALiM was awarded to the Director of the unitary enterprise «Tehnolit», Ph. D in Technical Sciences, Associate Professor Sergey L. Rovin.

I. A. Dibrov, the President of the Russian Association of founders handed Marukovich E. I. (Deputy Chairman of ALiM), F. S. Lukasiewicz, M. A. Saikova (Director of «GLS TSENTROLIT) medals of the Russian Association of founders for «Loyalty to profession».

In the nomination «For long-term work in the field of foundry and metallurgical productions» was awarded (posthumously) the Director of JSC «BELNIILIT», Ph. D in Technical Sciences Alexey Melnikov

In a solemn ceremony commemorative medals and diplomas were awarded:

- E. I. Marukovich, Academician of the NAS of Belarus Dr. of Engineering Sciences, Professor, twice Laureate of state prize, Honored inventor of the Republic of Belarus, Deputy Chairman of Association of foundrymen and metallurgists of Belarus – «For significant contribution to formation and development of the Association of foundrymen and metallurgists of the Republic of Belarus, organization and holding of International scientific-technical conference «Foundry production and metallurgy. Belarus»,

as well as to the General partners:

- Mr. Peter Tschandl – a longstanding friend and partner, the firm «Engineering Consultants Tschandl»;
- Mr. Olaf Kramer, the firm Heinrich Wagner Sinto, which modern equipment is well known in Belarus;
- Mr. Fabio Zanardi – President of the company, «Zanardi Fonderie», one of the well-known companies in the world for the production of products of austempered ductile iron (ADI).

The conference allowed to expand mutually beneficial cooperation, to raise awareness in the field of foundry and metallurgical production, to find new partners, to establish new contacts.

You can see the photo gallery of the conference on the website of ALiM <http://alimrb.by/liteynoye-proizvodstvo-i-metallurgiya-2017-belarus>.



Поступила 10.11.2017

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ STATUS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF METALLURGICAL PRODUCTION IN BELARUS

А. Н. САВЕНОК, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: ofwork@bmz.gomel.by

A. N. SAVENOK, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin city, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: ofwork@bmz.gomel.by

Дан краткий анализ состояния и перспектив развития металлургического комплекса Республики Беларусь. Приведены статистические данные структуры обрабатывающей промышленности по видам экономической деятельности, в том числе металлургического производства, по Республике Беларусь в целом и областям. Отмечено, что наибольшую долю в региональном масштабе (15,6%) металлургия занимает в структуре Гомельской области, что обусловлено расположением главного флагмана белорусской металлургии – Белорусского металлургического завода в г. Жлобине Гомельской области. Благодаря планомерной реконструкции и модернизации имеющегося оборудования, внедрения передовых конструкторских разработок в области металлургического оборудования и технологий ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» динамично развивается и в ближайшие годы планируется преодолеть 3-миллионный рубеж производства стали и трехкратный подъем производительности. В 2015 г. был реализован масштабный проект строительства нового сортопрокатного цеха производительностью 700 тыс. т проката в год, пуск которого устранил дисбаланс стратегический – между мощностями сталеплавильного комплекса и смежных производств.

Приведены наиболее значимые проекты на предприятиях холдинга и обозначены перспективы дальнейшего развития холдинга «БМК». 2017 год-год науки начался для ОАО «БМЗ» со знаменательного события: ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» впервые выдано Свидетельство об аккредитации в качестве научной организации.

A brief analysis of the status and prospects of development of metallurgical complex of the Belarus Republic is given in the article. Statistics of the structure of manufacturing sector by types of economic activities, including metallurgical production, in the Republic of Belarus as a whole and by regions is provided. It was noted that the largest share in the regional scale – 15.6% of metallurgy exists in Gomel region, due to the location of the main flagship of the Belarusian industry – the Belarusian steel works in Zhlobin city of Gomel region. Thanks to the systematic reconstruction and upgrading of existing equipment, introduction of advanced development in the field of metallurgical equipment and technologies OJSC «BSW – management company of holding «BMC» is dynamically developing in the coming years and it is planned to overcome the 3-million milestone in steel production and a threefold boost in productivity. The large-scale project of building a new bar mill with the capacity of 700 thousand tons of rolled products per year was completed in 2015. This production eliminated the strategic imbalance between the capacity of the steelmaking complex and related industries.

The most important projects of the holding companies and the perspectives of further development of the holding «BMC» were described. The year of the science -2017- began to JSC «BSW» with very significant event: OJSC «BSW – management company of holding «BMC» for the first time was awarded a Certificate of accreditation as a scientific organization.

Ключевые слова. Металлургическое производство, удельный вес промышленной продукции, реконструкция, модернизация, добавленная стоимость, инвестиции, проект, технологическое оборудование, научная деятельность.

Keywords. Metallurgical production, the share of industrial production, reconstruction, modernization, value added, investments, project, technological equipment, scientific activities.

Сегодня можно говорить о том, что реальный сектор экономики, наконец, вышел из затяжной рецессии, обусловленной негативными мировыми макроэкономическими процессами, и вступил в период устойчивого роста. На рис. 1 показана динамика промышленного производства в период с 2011 по 2016 г.

Как видно из рисунка, только к концу 2016 г. появились признаки замедления рецессии и начала нового периода подъема. Как и другие сферы хозяйствования, металлургическая отрасль, занимающая су-



Рис. 1. Динамика промышленного производства Республики Беларусь

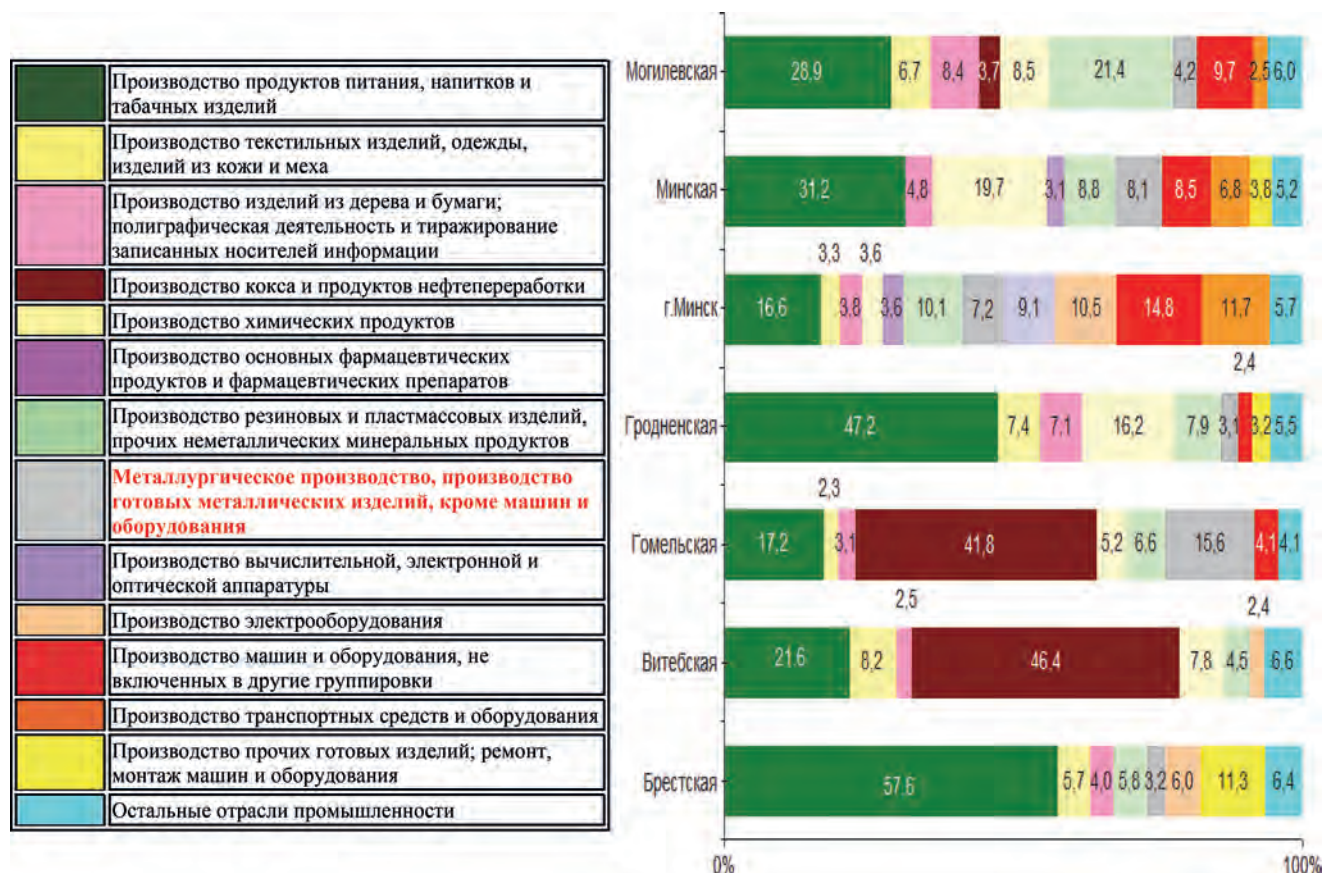


Рис. 2. Структура обрабатывающей промышленности по видам экономической деятельности по областям и г. Минску в 2016 г.

ущественную долю в производственно-экономической деятельности страны, также пережила не легкие времена.

На рис. 2 представлена структура обрабатывающей промышленности по видам экономической деятельности, где серым цветом выделена доля металлургического производства (включая производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования).

По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь, эта доля на 2016 г. составляла 7,1%, а наибольшую долю в региональном масштабе – 15,6% металлургия занимает в структуре Гомельской области, что обусловлено расположением главного флагмана белорусской металлургии – Белорусского металлургического завода в г. Жлобине Гомельской области. ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» вносит существенный вклад в промышленный потенциал области, которая занимает лидирующую позицию по удельному весу промышленной продукции среди территориальных субъектов Республики Беларусь (рис. 3).

В 2012 г. Указом Президента Республики Беларусь был образован холдинг «Белорусская металлургическая компания», в котором базовым предприятием и управляющей компанией является ОАО «Белорусский металлургический завод». На рис. 4 показано, как динамично развивается сегодня холдинг, постоянно наращивая объемы выпуска продукции.



Рис. 3. Удельный вес областей и г. Минска в общереспубликанском объеме промышленного производства

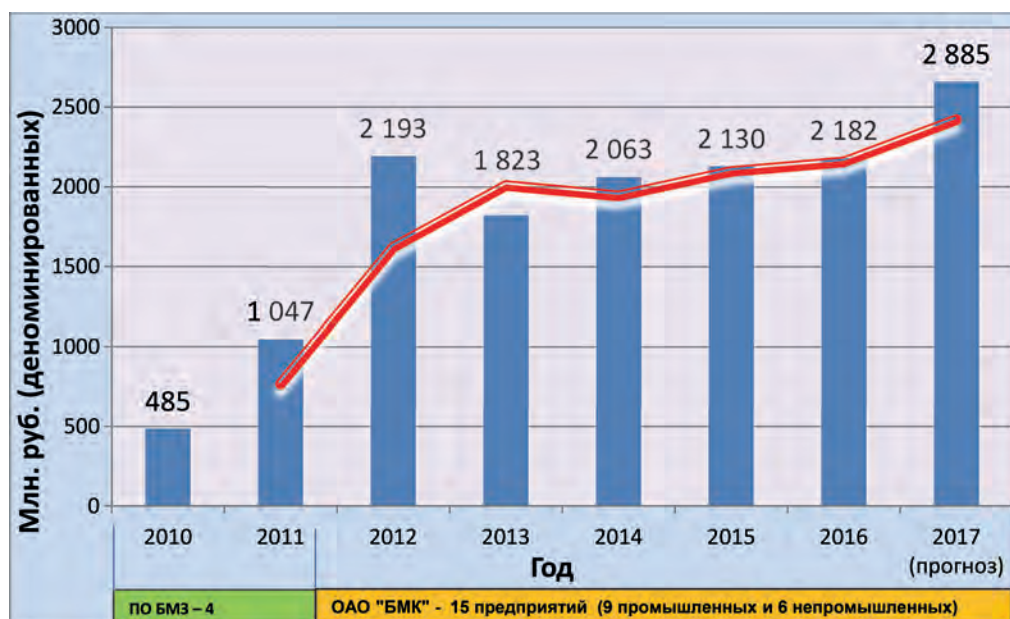


Рис. 4. Объем производства промышленной продукции холдинга «БМК»



Рис. 5. Производство стали по годам на ОАО «БМЗ»

В объем выпуска промышленной продукции входят показатели 15 предприятий холдинга, но доля завода в г. Жлобине составляет около 90%. Что касается объема выпуска стали, то эта доля еще больше.

На рис. 5 представлена динамика производства стали на Белорусском металлургическом заводе.

Первоначально завод был спроектирован для производства 700 тыс. т стали в год, а после строительства в 1990 г. третьей дуговой сталеплавильной печи – для 1025 тыс. т стали в год. Сегодня эта цифра

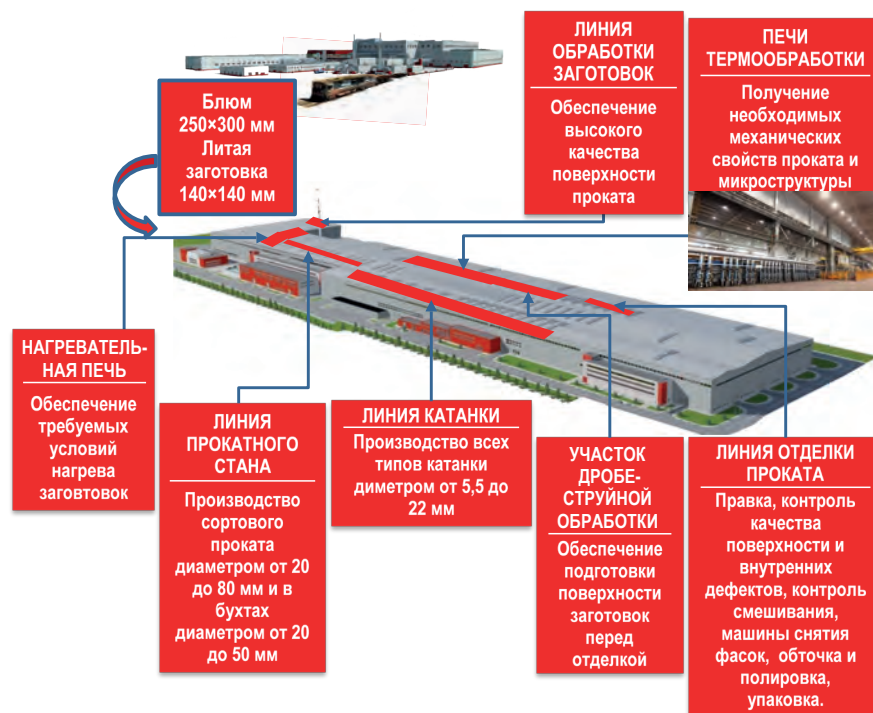


Рис. 6. Структура нового сортопрокатного цеха № 2

превышена более чем в 2 раза и в ближайшие годы планируется преодолеть 3-миллионный рубеж и трехкратный подъем производительности. Эти показатели достигаются благодаря планомерной реконструкции и модернизации имеющегося оборудования, внедрения передовых конструкторских разработок в области металлургического оборудования и технологий.

Этапы модернизации до 2010 г.

- 2002 г. – ввод в эксплуатацию установки печь-ковш № 2 в ЭСПЦ-1;
- 2004–2008 гг. – увеличение мощности печных трансформаторов на ДСП-1, 2, 3 с 75 до 95 МВА;
- 2007–2008 гг. – интенсификация выплавки стали на ДСП-2, 3;
- 2007–2009 гг. – модернизация МНЛЗ-1 и МНЛЗ-3.

Этапы модернизации до 2016 г.

- 2014 г. – реконструкция ДСП-1;
- 2014 г. – модернизация МНЛЗ-2;
- 2014 г. – строительство известково-обжигательной установки № 3;
- 2015 г. – строительство установки по выработке продуктов разделения воздуха.

Этапы модернизации до 2018 г.

Устанавливаемые агрегаты: две установки «печь-ковш»; установка для вакуумной дегазации.

Следует отметить, что пуском в эксплуатацию нового комплекса внепечной обработки в 2018 г. будет завершен процесс ликвидации дисбаланса между основными металлургическими участками, что позволит максимально эффективно использовать производственные площади сталеплавильных цехов и получить 3 млн. т стали. Дальнейшее наращивание производства стали будет возможно только на новых площадях.

Параллельно с решением вопроса в сталеплавильном цехе нами устранен дисбаланс стратегический – между мощностями сталеплавильного комплекса и смежных производств. В 2015 г. был реализован масштабный проект строительства нового сортопрокатного цеха производительностью 700 тыс. т проката в год (рис. 6).

Проект реализован совместно с компанией Danieli. Инвестиции составили 330 млн евро. С его завершением ОАО «БМЗ» фактически прекратил реализацию полуфабриката (литой заготовки и блюма) и получил возможность увеличить объем продаж готовой продукции с более высокой добавленной стоимостью. Продукция нового производства – это сортовой круглый прокат диаметром 20–80 мм в прутках и 20–50 мм в бухтах, катанка диаметром от 5,5 до 22 мм, арматурный прокат в бухтах от 6 до 16 мм. Кро-

ме того, появилась возможность производить такие новые для БМЗ виды продукции, как прокат с обточкой и полировкой поверхности, а также с термообработкой. Это позволило расширить клиентскую базу БМЗ и проникнуть в такие недоступные ранее сектора промышленного производства ведущих европейских держав, как автомобильная промышленность и производство подшипников. В настоящее время цех уже вышел на проектную мощность.

Наиболее значимые проекты на предприятиях холдинга

ОАО «Могилевский металлургический завод»

Реализован проект «Организация производства черновых осей для подвижного состава железнодорожных дорог колеи 1520 мм, ГОСТ 31334-2007» производительностью 40 000 шт/год. Поставщиком оборудования выступала компания Danieli, стоимость по контракту составила 16 млн 960 тыс. евро.

Ввод мощностей в эксплуатацию состоялся 01.06.2016 г. В настоящее время производится отработка технологического процесса с поэтапным увеличением нагрузки на технологическое оборудование. За 9 мес. текущего года фактический объем производства черновых осей составил 10 246 шт. Выход на проектную мощность производства запланирован в 2019 г.

Освоение производства черновых осей на ОАО «Могилевский металлургический завод» позволило увеличить объем производства продукции по товарам-представителям на 20,4%. За 9 мес. текущего года за счет реализации черновых осей прирост выручки составил 7821 тыс. руб.

СООО «Манули Гидравликс Мануфактуринг Бел»

В мае 2012 г. был заключен инвестиционный договор между Министерством промышленности Республики Беларусь и учредителями СООО «Манули Гидравликс Мануфактуринг Бел» – ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» и компанией «Manuli Rubber Industries s.p.a.», выступающей в качестве иностранного инвестора.

С момента регистрации общий объем инвестиций в основной капитал составил 15,0 млн. евро (в том числе иностранным инвестором компанией «Manuli Rubber Industries s.p.a.» – 5,6 млн. евро, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» – 6,5 млн. евро и ОАО «Завод «Легмаш» – 0,8 млн. евро). Инвестиции за счет собственных средств СП с начала деятельности составили 2,1 млн. евро.

Около 95% выпускаемой продукции реализуется в 13 стран ближнего и дальнего зарубежья: Финляндию, Швецию, Германию, Нидерланды, Великобританию, Францию, Италию, Южную Африку, Сингапур, Австралию, ОАЭ, Российскую Федерацию, Республику Казахстан, в том числе в 2017 г. добавились еще четыре государства.

За 2015–2017 гг. было освоено производство 48 видов гидравлических рукавов с условным диаметром 6, 8, 10, 12, 25 мм, в 2017 г. – пять видов РВД.

Всего с начала деятельности «МГМ Бел» выпущено 9,3 млн. пог. м РВД на общую сумму 13,5 млн. евро, из которых на экспорт отгружено на сумму 12,6 млн. евро. В 2017 г. планируется увеличить выпуск продукции на 0,7 млн. пог. м. к уровню прошлого года.

Объем производства за 2016 г. составил 6,2 млн. евро, в 2017 г. планируется 7,1, в 2020 г. – 9,7 млн. евро.

Перспектива

Строительство комплекса по производству спецсталей

ЦЕЛИ ПРОЕКТА

- ❖ Увеличение объемов производства.
- ❖ Освоение новых видов высокотехнологичной продукции с высокой добавленной стоимостью.
- ❖ Выход на новые рынки сбыта.

ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ ПРОЕКТА

- ❖ Высокая прибыльность готовой продукции.
- ❖ Наличие опыта эксплуатации аналогичного технологического оборудования.
- ❖ Возможность использования в производстве существующих мощностей для дальнейшего углубленного передела продукции.
- ❖ Наличие квалифицированных кадров и профильного учебного заведения (УО «Жлобинский государственный металлургический колледж»).

В текущем периоде проводятся маркетинговые исследования, для которых привлечены одна из авторитетнейших британских компаний в своей сфере «Metal Bulletin Research».

Создание совместного предприятия по производству газовых баллонов

На площадях предприятия холдинга ОАО «Завод «Легмаш» совместно с компанией VÍTKOVICE CYLINDERS a. s. будет создано новое предприятие. В качестве сырья для производства баллонов предполагается использовать заготовку ОАО «БМЗ».

Научная деятельность

Год науки начался для ОАО «БМЗ» со знаменательного события: ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» впервые выдано Свидетельство об аккредитации в качестве научной организации. Такое решение принято на основании оценки результатов научно-технической и инновационной деятельности предприятия, которую провели специалисты Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь и Национальной академии наук Беларуси.

Бесспорно, присвоение статуса научной организации выведет на новый виток развития и без того активно проводимую на БМЗ исследовательскую деятельность. Сегодня она сконцентрирована вокруг технического управления (ТУ), исследовательского центра (ИЦ) и созданной в 2017 г. на его базе отраслевой лаборатории технологий металлургического и сталепроволочного производств. Именно на эти подразделения ложится основная нагрузка как по внедрению в производство новых материалов и сырья, так и освоению выпуска инновационных видов продукции.

Благодаря результатам проводимой на предприятии научно-исследовательской деятельности доля инновационной продукции в общем объеме продаж завода в 2017 г. составляет 26,5%.

Отметим, что на ОАО «БМЗ» сложились давние традиции развития научного потенциала предприятия и активного сотрудничества с ведущими профильными научными и образовательными организациями как Беларуси, так и зарубежных – из России, Украины, Польши, Швеции.

Подготовка кадров

Базовые вузы республики по подготовке инженеров металлургических и смежных специальностей – Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого и Белорусский национальный технический университет.

Сегодня совместно с этими вузами разработаны программы и методики обучения студентов для металлургической отрасли: формирование специализированных групп студентов по востребованным специальностям; прохождение практики на всех ступенях непосредственно на БМЗ; выполнение курсовых и дипломных работ по темам, актуальным для БМЗ; собеседование и гарантия трудоустройства для перспективной молодежи.



УДК 669.184.244

Поступила 20.11.2017

СИНТЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННОЙ АРМАТУРЫ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ ТНПА И ПОТРЕБНОСТЕЙ РЫНКА

SYNTHETIC APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR MANUFACTURE OF COLD-DEFORMED REINFORCEMENTS IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENTS OF TECHNICAL REGULATIONS AND MARKET

*В. В. БЕЛАШ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь,
ул. Промышленная, 37. E-mail: vv.belash@bmz.iron*

*V. BELASH, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin city, Gomel region, Belarus,
37, Promyshlennaya str. E-mail: vv.belash@bmz.iron*

В статье отображен синтетический подход к разработке технологии изготовления холоднодеформированной арматуры с учетом потребностей рынка, который нуждается в холоднодеформированной арматуре с минусовым полем допуска по линейной плотности.

The article represents a synthetic approach to the development of technology for manufacture of cold-deformed reinforcement tailored to the needs of the market, which needs to have cold-worked reinforcement with negative field of tolerance on the linear density.

Ключевые слова. Холоднодеформированная арматура, унификация требований.

Keywords. Cold-deformed reinforcement, unification of requirements.

Строительная арматура применяется для усиления железобетонных конструкций. Название «железобетон» предполагает наличие в нем двух компонентов: стали и бетона. Бетон хорошо выдерживает лишь один вид нагрузки – сжатие. Остальные, такие, как кручение, растяжение, изгиб – воспринимают арматурой. Только при совместной работе они обеспечивают свойства железобетона, необходимые в строительстве. Строительная арматура является одним из наиболее востребованных строительных материалов на сегодняшний день.

Арматурой в строительстве называют стальные стержни различного сечения и формы, стальные канаты и пряди, воспринимающие растягивающие напряжения, возникающие в железобетонных элементах от внешних нагрузок и собственной массы конструкций. В строительстве используют два вида арматуры: гладкую и с периодическим профилем. Цель нанесения периодического профиля – увеличение силы сцепления бетона с арматурой. По трудоемкости изготовления арматура диаметром до 12 мм называется легкой, а от 12 до 40 мм – тяжелой.

По физико-механическим свойствам и другим показателям качества строительная арматура подразделяется на классы прочности в зависимости от минимального значения предела текучести. Поскольку она используется для производства ответственных строительных деталей, к ней предъявляются весьма жесткие требования:

- высокие прочностные и пластические механические свойства;
- прочность и жесткость сцепления с бетоном;
- хорошая свариваемость;
- коррозионная стойкость и усталостная прочность.

Прочность и жесткость сцепления арматуры с бетоном и другими материалами, а также ее распорность в бетоне во многом определяются видом и геометрическими параметрами профиля по-

верхности арматурного стержня, а также свойствами бетона и технологическими параметрами его укладки.

Механические свойства и свариваемость арматурной стали зависят от ее химического состава и способа упрочнения (термомеханическая или термическая обработка, холодная деформация). Механические свойства, химический состав, способы прокатки и упрочнения, параметры и вид профиля в той или иной степени определяют коррозионную стойкость и усталостную прочность арматуры.

Холоднодеформированная арматура для ненапрягаемых железобетонных конструкций (класс 500 МПа) на рынках заняла достойное место по следующим причинам: повышенные характеристики прочности; высокие коррозионные характеристики; улучшенная свариваемость на автоматических линиях контактной сварки вследствие пониженного содержания углерода, обеспечивающая снижение энергопотребления; благодаря конфигурации нанесенного трехстороннего профиля арматура не скручивается при размотке и обеспечивает лучшее прохождение арматуры в рихтующих устройствах и сварочных машинах; арматура производится в бухтах и при ее технологическом переделе практически отсутствуют отходы, что ведет к сокращению непроизводительных затрат и снижению себестоимости изделий; возможность применения автоматических линий для изготовления арматурных изделий, так как не требуется остановка линий для заправки арматуры.

Каждая страна-потребитель устанавливает свои требования к свойствам арматуры в соответствии со своими строительными нормами, что связано с месторасположением, а также с сейсмической активностью.

В настоящее время на ОАО «БМЗ» холоднодеформированная арматура сертифицирована и производится в соответствии с требованиями 10 стандартов (см. таблицу).

Перечень используемых стандартов на арматуру, производимую на ОАО «БМЗ»

Номер стандарта	Стандарт	Класс	Страна
1	DIN 488 ч. 1, 3: 2009 г, ч. 6: 2010 г.	B500A	Германия
2	DIN 488 ч. 1: 1984 г, ч. 4: 1986 г.	BSt500M	Латвия
3	SFS 1257	B500K	Финляндия
4	NS 3576-1	B500NA	Норвегия
5	IBDiM №AT/2010-02-2641/3	B500A	Польша
6	TO-09/0174-Z1/10	BSt500KR, BSt500M, B500A	Чехия
7	LST EN10080;	BSt500KR(A), BSt500M, B500NA	Литва
8	NEN6008-2008, BRL 0501-2010	B500A	Голландия
9	ГОСТ Р 52544-2006	B500C	Россия
10	СТБ 1704-2012	S500	Беларусь

Как видно из таблицы, основными потребителями холоднодеформированной арматуры являются страны ЕС.

Общая тенденция предприятий-производителей арматуры – попытка синтезировать требования различных стандартов и создание унифицированных арматурных сталей класса B500A по EN 1992-1 и EN 10080.

Отсутствие маневренности при изготовлении холоднодеформированной арматуры из-за большого числа разновидностей ее классов требует от производителей больших складских запасов. Все эти причины обусловили выполнение следующих требований рынка:

унификация требований стандартов в один класс;

определение требований к унифицированным классам, обеспечивающие гарантированное получение качественных характеристик (химического состава, механических свойств геометрических размеров) с учетом методик проведения испытаний по каждому стандарту.

Получение стабильно высоких свойств арматуры позволило унифицировать наиболее высокие требования каждого из стандартов для удовлетворения требований по геометрическим и механическим параметрам арматуры вышеперечисленных стандартов в единый класс. В частности, на ОАО «БМЗ» был произведен класс арматуры У4, обеспечивающий требования четырех стандартов:

- DIN 488 ч.1, 3: 2009 г, ч.6: 2010 г.;
- IBDiM №AT/2010-02-2641/3;
- NEN6008-2008, BRL 0501-2010;
- TO-09/0174-Z1/10.

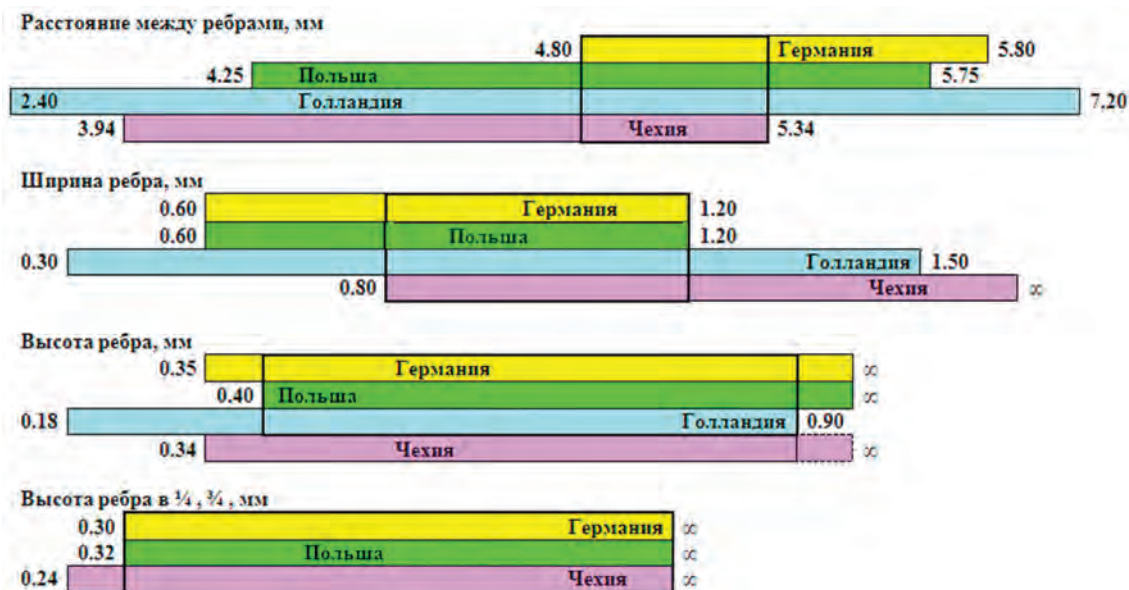


Рис. 1. Пример объединения геометрических требований для арматуры унифицированного класса У4 диаметром 6,0 мм

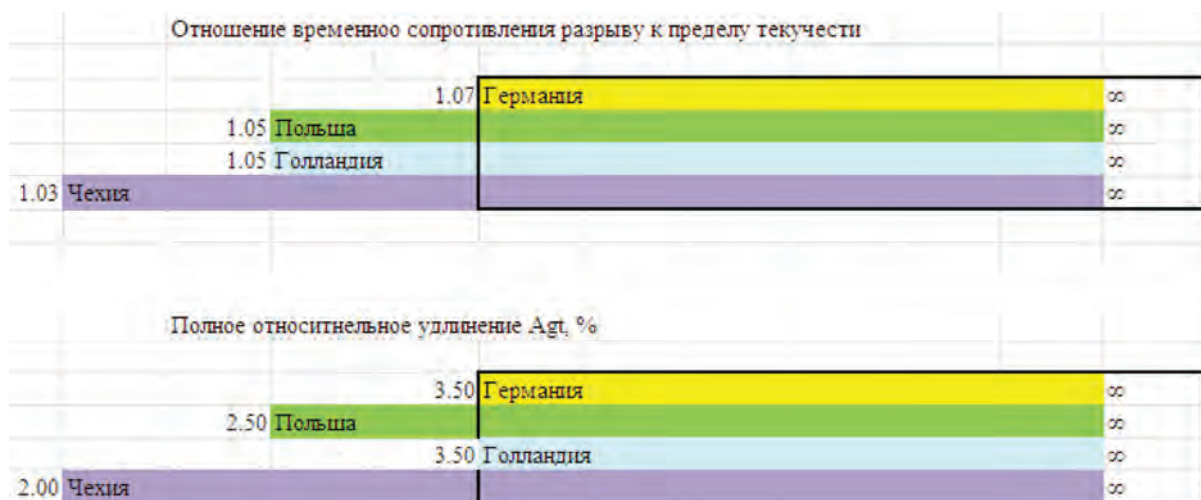


Рис. 2. Пример объединения механических требований для арматуры унифицированного класса У4 диаметром 6,0 мм

Унификацию геометрических и механических характеристик холоднодеформированной арматуры проводили по принципу нахождения общего и наибольшего значения (рис. 1, 2).

Унификация требований арматуры позволяет получить уникальный класс арматуры, удовлетворяющий всем требованиям различных стандартов и складировать всю продукцию на одном складе без сортировки, исключая вероятность перепутывания классов арматуры.

В настоящее время продукция ОАО «БМЗ» отгружается потребителю тоннажем в бухтах, а при дальнейшей переработке арматуры в сетки перепродается мерной длиной. В связи с этим одним из требований рынка является использование арматуры только с минусовым допуском линейной массы арматуры. Холоднодеформированную арматуру производят в весьма узком диапазоне допусков линейной плотности ($\pm 4,5\%$), тогда как горячекатаный арматурный прокат сопоставимых диаметров, как правило, поставляют с плюсовым допуском, достигающим $+8\%$. Заводы ЖБИ, ДСК и сами строители оказываются в положении хронического перерасхода арматуры, поэтому поставка холоднодеформированной арматуры преимущественно осуществляется только в минусовом поле допуска линейной плотности. При работе с допуском $-4,5\%$ 1 м масса погонного метра арматуры номинальным диаметром 8,0 мм составляет не 0,395 кг, а 0,377 кг. Таким образом, с каждой бухты холоднодеформированной арматуры номинальной массой 1000 кг получается дополнительных 120 м.

Необходимо отметить, что, согласно указанным нормативным документам, механические свойства арматуры определяются исходя не из ее фактического, а номинального диаметра. Это позволяет характеризовать качество строительной конструкции, а не используемого материала. Разница между результатами

испытаний составляет 10–25 Н/мм² при одинаковой текучести, что уменьшает параметр отношения предела прочности к пределу текучести на 0,01–0,02 ед. и усложняет получение высоких механических свойств.

Для получения высоких механических свойств арматуры с минусовым допуском были внесены правки в технологический процесс: определены требования к катанке (диаметр, марка стали) и прокатным профилировочным роликам.

При сохранении необходимого уровня относительной площади смятия внесенные изменения позволяют производить арматуру с высокими механическими характеристиками, удовлетворяющими требования четырех стандартов, и линейной массой –2–4% от номинального значения.

В дальнейшей перспективе на ОАО «БМЗ» планируется объединить все классы арматуры в один класс, удовлетворяющий всем требованиям различных стандартов и складировать всю продукцию на складе без сортировки, исключая вероятность перепутывания классов арматуры. Унификация классов также сократит количество испытаний при производстве и позволит сэкономить на дорогостоящих испытаниях.



УДК 669.112

Поступила 24.11.2017

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВЕННЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННОЙ АРМАТУРЫ КЛАССА ВР500

ANALYSIS OF THE REQUIREMENTS FOR THE QUALITY CHARACTERISTICS OF COLD-FORMED REINFORCEMENT OF CLASS ВР500

Т. А. АХМЕТОВ, А. В. ХОДОСОВСКИЙ, А. В. МАЗАНИК, Ю. И. КОЗЫРЕВА, Л. В. ЛОКТИОНОВА,
ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь,
ул. Промышленная, 37. E-mail: metiz.to@bmz.gomel.by

T. A. AKHMETOV, A. V. KHODOSOVSKY, A. V. MAZANIK, YU. I. KOZYREVA, L. V. LOKTIONOVA,
OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin city, Gomel region, Belarus,
37, Promyshlennaya str. E-mail: metiz.to@bmz.gomel.by

В статье рассмотрены основные требования к новому классу холоднодеформированной арматуры Вр500. Произведена оценка требований к эксплуатационным характеристикам такой арматуры в сравнении с арматурной проволокой класса Вр-1 в соответствии с ГОСТ 6727-80. Наряду с требованиями к пластичности или деформативности арматуры для нового класса введены требования по относительной площади смятия, усталостной выносливости, обязательной маркировке и др. Для обеспечения надежности введены характеристические значения C_v , определяемые методами статистического контроля при долговременной оценке качества. Существенно расширен размерный ряд арматуры.

The main requirements for a new class of cold-formed reinforcement V500 are considered in the article. The requirements to the performance characteristics of such fittings in comparison with the reinforced wire of class Bp-1 in accordance with GOST 6727-80 have been estimated. Along with the requirements for plasticity or deformation of the reinforcement for the new class requirements are introduced for the relative bearing surface, fatigue endurance, mandatory marking, etc. To ensure reliability the characteristic values of C_v , determined by statistical control methods with long-term quality assessment are introduced. The size range of the reinforcement was significantly expanded.

Ключевые слова. Композиционные материалы, арматура, предел текучести, пластичность арматуры, относительная площадь смятия, усталостная выносливость, прокатная маркировка.

Keywords. Composite materials, reinforcement, yield point, plasticity of the reinforcement, relative bearing surface, fatigue endurance, rolling marking.

Композиционные материалы (КМ, композиты) используются уже на протяжении многих веков. Композиты – это материалы, состоящие из двух или более компонентов (матрицы и армирующего наполнителя) и обладающие свойствами, отличными от суммарных свойств компонентов. Первыми примерами научного подхода к созданию искусственных композиционных материалов считают появление железобетона и стеклопластиков [1].

Несмотря на создание большого числа искусственных композитов, армированный сталью бетон или железобетон остается на протяжении многих лет самым востребованным материалом в строительстве. Повышение прочности бетона при растяжении и устранение хрупкости разрушения достигаются введением в его матрицу длинномерных или дисперсных армирующих наполнителей различной природы [2]. От качественных характеристик, используемых в железобетоне материалов, напрямую зависит безопасность зданий и сооружений. В связи с этим во всем мире арматурная сталь подлежит обязательной государственной сертификации.

На современном этапе развития технологий к основным качественным характеристикам арматуры, которые определяют безопасную эксплуатацию зданий и сооружений, можно отнести:

относительную площадь смятия (f_r), расчетная величина которой зависит от геометрических параметров ребер арматуры и определяет ее механическое сцепление с бетоном;

предел текучести F_m или условный предел текучести $F_{0,2}$, который определяет класс прочности арматуры (максимальная допустимая нагрузка при «нормальном» режиме работы);
полное относительное удлинение при максимальной нагрузке (Agt);
отношение временного сопротивления разрыву к пределу текучести (σ_B/σ_T или $\sigma_B/\sigma_{0,2}$), является показателем упрочнения арматуры при ее деформации.

Последние два параметра являются показателями пластичности или деформативности арматуры, т. е. обладают способностью поглощать энергию посредством пластических деформаций при аварийных нагрузках. До 60-х годов прошлого века пластичность в мире рассматривалась практически только как свойство материала. Так был построен стандарт на арматуру класса Вр-1 диаметром 3–5 мм ГОСТ 6727-80 «Проволока из низкоуглеродистой стали холодноотянута для армирования железобетонных конструкций». Термин «проволока» в данном случае применяется в связи с тем, что данный тип арматуры является продуктом метизного передела и фактически описывает только форму поставки ее в виде бухт. Преимущества применения бухтовой арматуры вместо арматурного проката мерных стандартных размеров в части повышения годного продукта общеизвестны. Это, прежде всего, исключение от 10 до 15% «узаконенных» отходов и обрезки [3].

Ниже приведены основные технические требования, которые предъявляются к арматуре класса Вр-1 в соответствии с ГОСТ 6727-80.

1. Геометрические параметры (диаметр, глубина вмятин, шаг вмятин и т. д.).
2. Разрывное усилие.
3. Усилие, соответствующее условному пределу текучести.
4. Число перегибов.
5. Относительное удлинение δ_{100} .

Принимая во внимание, что ГОСТ 6727-80 впервые введен еще в СССР в 1953 г., на сегодняшний день данные технические требования «устарели» и не могут являться показателями для определения механической работы арматуры в бетоне. В качестве оценки сцепления арматуры и бетона в настоящее время принято использовать характеристику, приведенную к длине «относительная площадь смятия» f_r , а не набор геометрических параметров. В современной практике классификацию арматуры осуществляют по удельным, а не силовым параметрам. С точки зрения современного понимания работы арматуры в железобетоне показатель «относительное удлинение δ_{100} » является информативным касательно только для материала, так как при измерении остаточной деформации δ_{100} включена зона шейки, которая образуется уже после разрушения, когда арматура полностью теряет несущую способность. Также в ГОСТ 6727-80 не нормируется показатель «отношение временного сопротивления разрыву к пределу текучести». Это важный показатель деформативности, так как он характеризует способность арматуры упрочняться при растяжении без потери агрегатного состояния до разрушения.

При опасном возрастании в арматуре напряжений от растяжения при низкой пластичности (σ_B/σ_T , близкое к 1, Agt менее 2,5 %) на практике при эксплуатации в железобетоне наступает внезапное разрушение такой арматуры, практически не посылая для окружающей инфраструктуры сигнала о начале потери несущей способности, например, в виде трещин, что в итоге лишает шанса людей на спасение [4].

Современный уровень техники не позволяет произвести 100 %-ный контроль производимой арматуры. Для определения надежности обеспечения технических требований всей генеральной совокупности поставляемой продукции в современных стандартах используют статистические методы контроля и оценки (квантили генеральной совокупности) основных качественных характеристик арматуры по небольшому объему испытаний, но при долговременном контроле. Именно такие методы определяют надежность характеристик всего объема арматуры, поставляемой конкретным производителем. Для проволоки класса Вр-1 указаны только минимальные требования к характеристикам, приведенным выше. Они распространяются, по сути, только на 3–5 бухт в партии объемом 70–80 т, от которых случайно отбираются образцы для испытаний, что никак не указывает на уровень надежности обеспечения характеристик даже для этой отдельной партии, не говоря обо всем объеме поставляемой продукции конкретного изготовителя.

Таким образом, применение арматурной проволоки класса Вр-1 в соответствии с ГОСТ 6727-80 в качестве армирующего материала для бетона является не безопасным и на сегодняшний день действует ограничение на ее применение на территории РБ и РФ. При этом объем потребления только в РФ «проволочной» арматуры или арматуры метизного передела составляет по разным оценкам до 0,5 млн. т.

Существенным недостатком ГОСТ 6727-80 является и ограничение диапазона диаметров от 3 до 5 мм. При этом современные линии на метизном переделе позволяют производить холоднодеформированную арматуру в бухтах диаметром до 16 мм.

Для устранения описанных выше недостатков в АО «НИЦ «Строительство» был разработан СТО 36554501-053-2017 «Холоднодеформированная арматура Вр500 для армирования бетона и кладки». В названии класса арматуры в соответствии с общепринятой мировой практикой указан класс прочности арматуры.

По сравнению с ГОСТ 6727-80 новый стандарт предусматривает ряд существенных изменений и дополнений. Дано определение термина для холоднодеформированной арматуры как способа метизного передела (взамен арматурной проволоки). Введено требование к пластичности, относительной площади смятия и усталостной выносливости арматуры (значения установлены идентичными требованиям Европейских стандартов). Для обеспечения надежности введены характеристические значения C_{σ} , определяемые методами статистического контроля при долговременной оценке качества. Существенно расширен размерный ряд арматуры. В общем диапазоне диаметров от 2,5 до 14,0 мм введены дополнительные размеры с градацией через 0,5 мм в диапазоне от 2,5 до 5,5 мм и с градацией через 1 мм в диапазоне от 6 до 14 мм.

Еще одна особенность нового стандарта – возможность использования арматуры по двум наборам технических требований. В первой группе технических требований к арматуре предъявляются «стандартные» требования ($\sigma_B/\sigma_T \geq 1,05$, $Agt \geq 2,5\%$) к пластическим характеристикам. Во второй группе «упрощенных» технических требований отсутствуют требования к пластичности арматуры, но при этом увеличены требования к условному пределу текучести до 570 МПа.

Установлено, что арматура по второй группе требований может применяться только как конструктивная и распределительная, когда сварное изделие из нее не работает на растяжение. Сегодня области применения сеток и каркасов такого назначения существенно расширяются от дорожного строительства до отделочных работ и усиления кладки. Сетки с такой арматурой можно использовать и для исключения трещинообразования бетона при его твердении и работе.

Важным отличием от ГОСТ 6727-80 является введение в СТО 36554501-053-2017 прокатной маркировки класса и визуальной маркировки номера набора технических требований взаимным расположением поперечных ребер. Требование к обязательной маркировке для класса Вр-1 отсутствовало.

Замена проволочной арматуры класса Вр-1 на класс Вр500 решает ряд вопросов. Во-первых, гармонизацию с зарубежными и прежде всего европейскими нормами в части требований к надежности, механической прочности и деформативности.

Во-вторых, более рационально использовать проволочную арматуру в областях неответственного применения как конструктивную и распределительную с оптимизацией по размерному ряду и техническим требованиям к механическим свойствам.

В-третьих, создать и вывести на рынок новый класс унифицированной проволочной арматуры для расширения возможностей его экономичного применения в различных сегментах строительства с разными техническими требованиями.

Литература

1. **Полимерные** композиционные материалы: учеб. пособ. / Л. И. Бондалетова, В. Г. Бондалетов. Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2013. Ч. 1. 118 с.
2. **Применение** устройства для повышения пластических свойств холоднодеформированной арматуры / Т. А. Ахметов, Ю. Л. Бобарикин, Я. В. Чикишев, Н. В. Старков, Л. В. Локтионова, И. Н. Радькова // Литье и металлургия. 2016. № 2. С. 64–68.
3. **Состояние** современного производства мелкосортного арматурного проката и реализация его качества в строительстве / С. В. Снимщиков, В. А. Харитонов, И. Н. Суриков, В. В. Аникеев // СТРОЙМЕТАЛЛ. 2013. № 2.
4. **IanGilbert R., Zafer Sakka I.** Strength and ductility of reinforced concrete slabs containing welded wire fabric and subjected to support settlement // Engineering Structures. 2010. Vol. 32. № 6. P. 1509–1521.



УДК 669.111.227

Поступила 24.11.2017

ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ ДИАМЕТРОМ 200 ММ ИЗ ХРОМОМОЛИБДЕНОВЫХ МАРОК СТАЛИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БЕСШОВНЫХ ТРУБ В УСЛОВИЯХ ОАО «БМЗ – УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БМК»

MASTERING THE PRODUCTION OF A CONTINUOUS CASTING BILLET DIAMETER 200 MM FROM CHROME–MOLYBDENUM STEEL GRADES FOR THE PRODUCTION OF SEAMLESS PIPES AT THE OJSC «BSW – MANAGEMENT COMPANY OF HOLDING «BMC»

*И. А. БОНДАРЕНКО, И. А. КОВАЛЕНКО, А. В. ТЕРЕЩЕНКО, А. В. ФЕКЛИСТОВ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37.
E-mail: vav.icm@bmz.gomel.by*

*I. A. BONDARENKO, I. A. KOVALENKO, A. V. TERESHCHENKO, A. V. FEKLISTOV, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin city, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str.
E-mail: vav.icm@bmz.gomel.by*

Рост спроса на бурильные и перфорированные трубы в Российской Федерации и США требует увеличения объемов производства бесшовных труб. В свою очередь специфические условия эксплуатации труб предъявляют к продукции особые требования по прочности и стойкости к агрессивным средам. В данной статье описывается опыт освоения производства хромомолибденовых марок стали в условиях ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК».

Growth in demand for drilling and perforated pipes in the Russian Federation and the USA requires an increase in the production of seamless pipes. In turn, the specific operating conditions of the pipes present special requirements to the product for strength and resistance in aggressive media. This article describes the experience of mastering the production of continuous casting billets from chromium-molybdenum steel grades at the OJSC «BSW – Management Company of the Holding «BMC».

Ключевые слова. *Сталь, дуговая сталеплавильная печь, вакууматор, машина непрерывного литья заготовок, центральная пористость, сталеплавильная плена.*

Keywords. *Steel, arc steelmelting furnace, degasser, continuous casting machine, central porosity, steelmaking flaw.*

Современные условия добычи нефти (истощение запасов и большие глубины скважин) требуют внедрения новых методов и способов, что увеличивает требования к эксплуатируемым трубам. Большое распространение получил способ разработки продуктивных пластов скважинным перфоратором методом взрыва. Помимо воздействия агрессивной среды и ударных нагрузок, на бурильные трубы также оказывают влияние взрывные нагрузки и высокие температуры. Данные факторы предъявляют к бурильным трубам повышенные требования по механическим характеристикам (работа удара, предел текучести и прочности и т. д.) и стойкости к коррозии. Для обеспечения этих характеристик бесшовные трубы производятся из хромомолибденовых марок стали с особыми требованиями по загрязненности неметаллическими включениями, наличию наружных и внутренних дефектов, содержанию примесей цветных элементов, серы, азота и специально подобранными режимами термообработки. Основными легирующими элементами данной группы марок стали являются хром и молибден, добавление которых в состав стали позволяет повысить способность металла к термическому упрочнению, стойкости к коррозии и окислению, сопротивлению ползучести и прочности при высоких температурах.

Освоение производства непрерывнолитой заготовки диаметром 200 мм из хромомолибденовых марок сталей в условиях ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» начато с 2015 г. Конечная продукция – это горячекатаные бесшовные трубы, получаемые в трубопрокатном цехе методом попе-



Рис. 1. Сталеплавильные плены на наружной поверхности бесшовных труб: *а* – тело трубы; *б* – микрошлиф, травленный в реактиве Обергоффера



Рис. 2. Сталеплавильные плены на внутренней поверхности бесшовных труб: *а* – тело трубы; *б* – микрошлиф, травленный в реактиве Обергоффера

речно-винтовой прокатки по технологии PQF (Premium Quality Finishing Mill). В последующем бесшовные трубы служат заготовками для производства бурильных и перфорированных труб нефтедобывающей промышленности Российской Федерации и США.

Особенностями химического состава хромомолибденовых марок стали, помимо легирования хромом (от 0,80 до 1,10 %) и молибденом (от 0,15 до 0,45 %), являются низкое содержание серы в металле (до 0,005%), а также ограничение по содержанию азота (до 0,012%). Данные марки стали производятся по следующей технологической схеме: расплавление металлошихты в дуговой 100-тонной сталеплавильной печи, внепечная обработка металла на установке «печь-ковш» и циркуляционном вакууматоре «RH», разливка закрытой струей заготовок диаметром 200 мм на 4-ручьеваой машине непрерывнолитой заготовки (МНЛЗ).

Требуемое процентное содержание основных легирующих элементов в стали получали путем отдачи хром- и молибденсодержащих добавочных материалов. С целью сокращения времени внепечной обработки были приняты следующие технологические решения: присадка ферросплавов на нижний марочный предел во время слива металла из дуговой сталеплавильной печи (ДСП), отдача алюминия после присадки ферросплавов ближе к концу выпуска металла и скачивание печного шлака в случае его попадания в сталеразливочный ковш в процессе выпуска металла из ДСП. Для недопущения перенасыщения металла азотом в процессе выплавки осуществляли продувку расплава аргоном в ДСП и последующую дегазацию на циркуляционном вакууматоре «RH». Удаление серы производили путем наведения на установке «печь-ковш» высокоосновного шлака присадками извести, разжижителей шлака и шлакораскисляющей смеси, а также последующей интенсивной продувкой металла аргоном. В случае остановки процесса десульфурации проводили скачивание существующего шлака и наведение нового.

Разливку хромомолибденовых марок стали осуществляли на 4-ручьеваой МНЛЗ с защитой металла от вторичного окисления защитной трубой, погружными стаканами, теплоизолирующей и шлакообразующей смесями. При разливке первой серии плавок рабочая скорость составляла 1,4 м/мин при перегреве металла в промежуточном ковше над температурой ликвидус порядка 30–35 °С.

При отделке плавок, разлитых по указанным режимам, на наружной и внутренней поверхности бесшовных труб были обнаружены дефекты сталеплавильного происхождения, классифицируемые как сталеплавильные плены (рис. 1, 2).

С целью обеспечения качества наружной и внутренней поверхности горячекатаных бесшовных труб была проведена поэтапная работа.

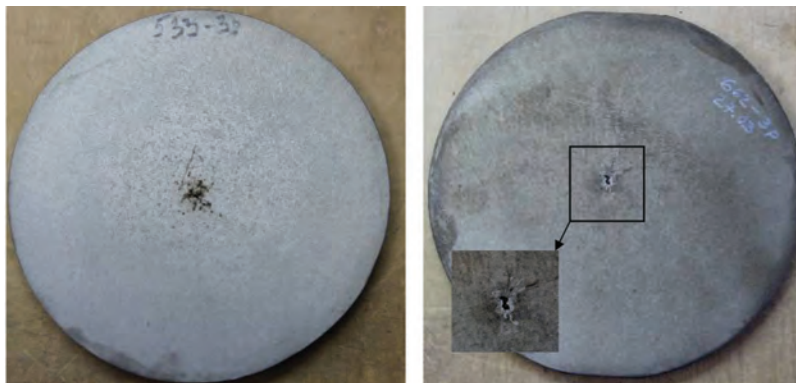


Рис. 3. Макроструктура стали при разливке с перегревом в 30–35 °С

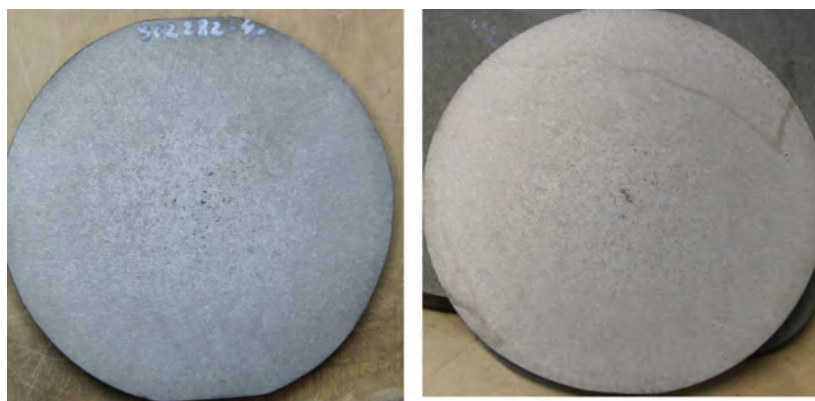


Рис. 4. Макроструктура стали при разливке с перегревом, уменьшенным до 15–25 °С

П е р в ы й э т а п. Поверхность непрерывнолитой заготовки.

В результате проведенных исследований были даны рекомендации по фиксированным значениям разницы температуры охлаждающей воды на входе и выходе из кристаллизаторов (параметр Δt) в пределах 5,5–6,0 °С, а также использованию гильз кристаллизаторов с внутренней геометрией «Convex» и увеличению постоянной рабочей скорости разливки до 1,6 м/мин.

Выполнение данных мероприятий позволило получить качественную поверхность непрерывнолитой заготовки и, таким образом, минимизировать процент несоответствий бесшовных труб по дефекту «сталеплавленная плена» на наружной поверхности.

В т о р о й э т а п. Макроструктура центральной части непрерывнолитой заготовки.

Были проанализированы причины получения дефекта «сталеплавленные пленки» на внутренней поверхности бесшовных труб. Установлена прямая корреляционная зависимость количества отсортированных труб от величины перегрева металла. При макроструктурном исследовании выявлен высокий балл центральной пористости (до 3,5 балла) согласно ОСТ 14-1-235-91 (рис. 3), что указывает на высокую температуру разливки стали. Была снижена величина перегрева металла до 15–20 °С.

После проведения данного мероприятия (снижение величины перегрева металла) макроструктура исследуемой непрерывнолитой заготовки удовлетворительная, центральная пористость не более 1,0–1,5 балла.

Данный этап работы позволил получить качественную макроструктуру (рис. 4) и, как следствие, внутреннюю бездефектную поверхность бесшовной горячекатаной трубы из хромомолибденовых марок стали.

Отработка технологических параметров режимов выплавки и разливки при освоении хромомолибденовых марок стали позволила обеспечить высокое качество поверхности и макроструктуры центральной зоны непрерывнолитой заготовки диаметром 200 мм и, таким образом, минимизировать дефекты на наружной и внутренней поверхности бесшовных горячекатаных труб производства ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК».



УДК 669.

Поступила 21.11.2017

ОБРЫВНОСТЬ ПРОВОЛОКИ ВО ВРЕМЯ ВОЛОЧЕНИЯ ПО ПРИЧИНАМ НАЛИЧИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ, НАСЛЕДОВАННЫХ С КАТАНКИ

WIRE BREAKAGE DURING WIRE DRAWING DUE TO THE PRESENCE OF SURFACE DEFECTS, INHERITED FROM WIRE ROD

Е. С. СЕРЕГИНА, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: nmg.czl@bmz.gomel.by

A. S. SIAROHINA, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin city, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: nmg.czl@bmz.gomel.by

Перечислены основные причины обрывов проволоки во время волочения, описаны признаки внешнего вида и особенности металлографической структуры разрушений, по которым можно идентифицировать вид и причину обрыва. Представлена трансформация дефектов в процессе волочения.

The main causes of wire breakage during drawing are listed, the appearance signs and peculiarities of metallographic structure of destruction are described. The type and cause of the breakage could be identified on basis of this description. The transformation of defects in the drawing process is presented.

Ключевые слова. Проволока, катанка, обрыв, причина разрушения, дефект поверхности, микроструктура, текстура волочения.

Keywords. Wire, wire rod, breakage, cause of breakage, surface defect, microstructure, wire drawing texture.

В современных условиях производства обеспечение качества продукции на основе высокотехнологичных процессов и экономии материалов, ресурсов являются основой политики предприятия. Изготовление металлокорда для шин, проволоки для рукавов высокого давления, бортовой проволоки на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» включает в себя выплавку стали в электропечах, прокат в катанку на станах с непрерывным охлаждением, холодное волочение катанки в проволоку, одно- два патентирования проволоки, нанесение тонкого латунного покрытия гальваническим и химическим способами, мокрое волочение проволоки, свивку тонкой проволоки в металлокорд. При таком сложном цикле получения из бляма сечением 250×300 мм тонкой стальной латунированной проволоки диаметром 0,15–0,75 мм и металлокорда иногда случаются сбои в процессах на всех стадиях и образование дефектов, но дефект дает о себе знать в основном на последних стадиях производства – свивке в металлокорд, происходит обрыв проволоки. Чем грубее дефект, тем на более ранней стадии происходит обрыв проволоки, который в свою очередь вызывает простои оборудования, увеличение количества брака, снижение производительности труда.

Для обеспечения производства качественной проволоки без обрывов и простоев оборудования на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» ведется мониторинг обрывности, определение причин, анализ статистики по обрывности. Во многих случаях проблематично выявлять причины обрывов, которые произошли при свивке металлокорда, вследствие несоответствий на этапе сталеплавления или прокатного производства. Нельзя только по внешнему виду обрыва однозначно утверждать о его причине, так как внешний вид бывает одинаковый, а причины образования различные. Необходимо анализировать несколько факторов – внешний вид обрыва, структуру, стадию и технологию производства, на которой произошел обрыв, в некоторых случаях определять химический состав и механические свойства проволоки, анализировать статистические данные, иногда это сложная исследовательская работа. Поэтому представляет интерес опыт определения видов и причин обрывов проволоки, изготовленной из

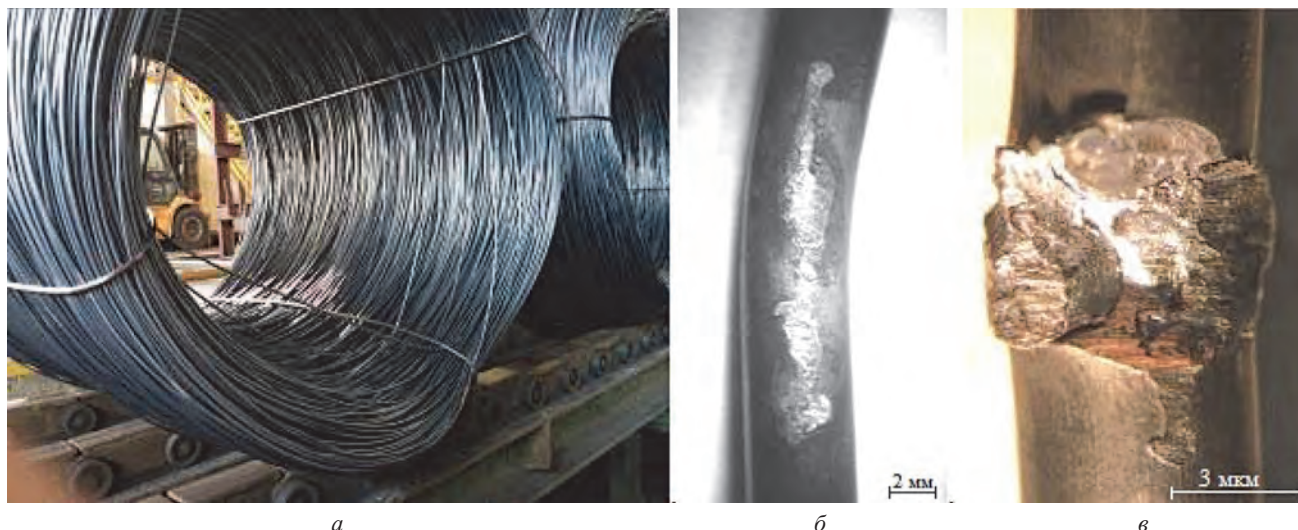


Рис. 1. Дефекты увязки бунтов катанки: *а* – внешний вид бунта катанки с увязкой; *б* – неглубокие повреждения в зоне увязки протяженностью 15 мм; *в* – глубокие повреждения в зоне увязки протяженностью 6–7 мм



Рис. 2. Дефекты транспортировки бунтов катанки диаметром 5,5 мм

катанки БМЗ. В данной статье представлены виды и причины обрывов проволоки, которые в большинстве случаев происходят на этапе грубосреднего волочения, латунирования, бронзирования, из-за наличия на ее поверхности разволоченных поверхностных дефектов различного происхождения, наследованных с катанки. Также показано, как изменяется внешний вид дефектов после прохождения проволоки через несколько волок при волочении.

Анализ обрывности на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» показывает, что самыми многочисленными обрывами, происходящими на участках грубосреднего волочения, латунирования, бронзирования сталепроволочных цехов, являются обрывы по причине наличия на катанке механических повреждений (задиры, истирания) разной глубины и протяженности, образующихся при увязке и транспортировке бунтов из прокатного в сталепроволочные цеха (рис. 1, 2). В зоне увязки в основном образуются неглубокие незначительные истирания протяженностью 5–15 мм, (рис. 1, б), но случаются и глубокие (рис. 1, в), особенно на малоуглеродистых марках стали. Дефекты транспортировки имеются на 10–20% бунтов, в основном это неглубокие повреждения протяженностью 30–70 см одновременно на нескольких витках (рис. 2, а), однако 1–3% бунтов катанки марки сталей 70, 80 имеют значительные повреждения (рис. 2, б) (на малоуглеродистых марках больше).

Чтобы определить внешний вид дефектов на проволоке после волочения и вероятность обрывов при волочении, катанку с дефектами от вязок, дефектами транспортировки поместили медным купоросом, затем бунты были установлены на станы для волочения. После волочения помеченные участки проволоки отобраны и исследованы. На рис. 3 показаны помеченные участки волоченой проволоки, изготовленной из катанки с неглубокими поверхностными повреждениями, аналогичными представленным на рис. 1, б. Незначительные неглубокие истирания на катанке от увязки протяженностью 5–15 мм приводят к образованию на проволоке дефектной поверхности повышенной шероховатости с микротрещинами протя-



Рис. 3. Поверхностные дефекты на проволоке диаметром 1,97 мм протяженностью ~3 см, изготовленной из катанки 5,5 мм, марки 80 с незначительным дефектом увязки протяженностью ~10 мм

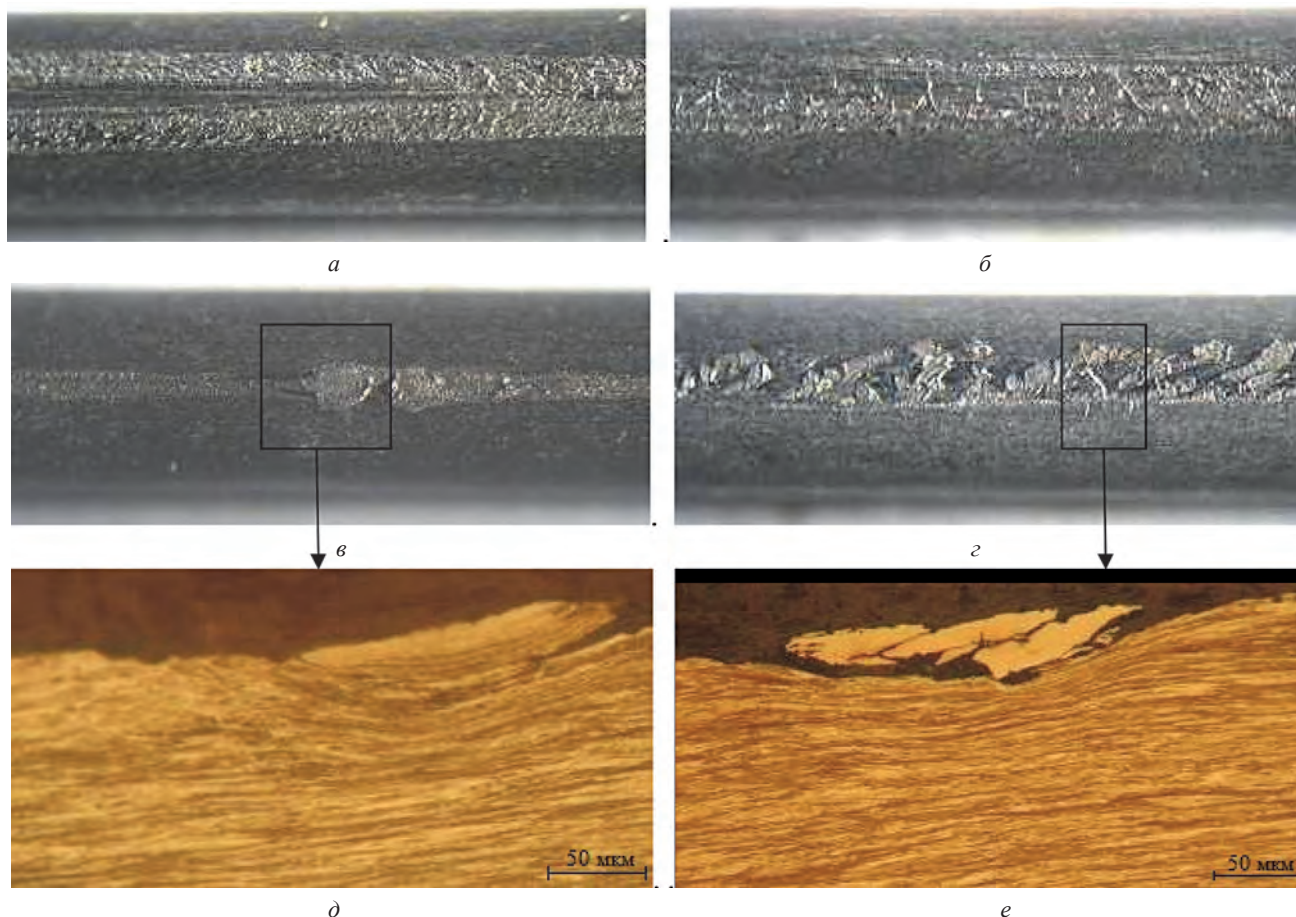


Рис. 4. Типичный вид (а–е) и микроструктура (д, е) поверхностных дефектов проволоки диаметром 1,97 мм, изготовленной из катанки с дефектами транспортировки: а, б – светлые участки повышенной шероховатости с микротрещинами; в – трещины; г – трещины в зоне мартенситной структуры; д – трещины в зоне неоднородной сплюсненной текстуры; е – трещины в зоне мартенситной структуры (д, е – продольное сечение проволоки, травление в реактиве «Нитал 2%»)

женностью в несколько сантиметров в зависимости от диаметра проволоки. Глубина трещин на такой дефектной поверхности незначительна, поэтому они не вызывают обрыв проволоки.

На рис. 4 показаны помеченные участки волооченной проволоки, изготовленной из катанки с поверхностными повреждениями, аналогичными представленным на рис. 2, а, полученными при транспортировке бунтов.

Дефекты на поверхности проволоки представляют собой светлые, блестящие на некоторых участках, неоднородные по ширине и длине прерывистые полосы зон повышенной шероховатости, микротрещин, трещин (рис. 4, а, б, в). Протяженность дефектных участков зависит от степени механического повреждения катанки и диаметра проволоки, может быть длиной от нескольких сантиметров до 10 м. На некоторых участках имеется хрупкая структура мартенсита с многочисленными трещинами, которую можно идентифицировать по интенсивному металлическому блеску и четкой геометрической форме трещин (рис. 4, г). Микроструктура проволоки в зоне поверхностных дефектов неоднородная – в зоне повышенной шероховатости, микротрещин изменения в текстуре волочения отсутствуют, в зоне более глубоких

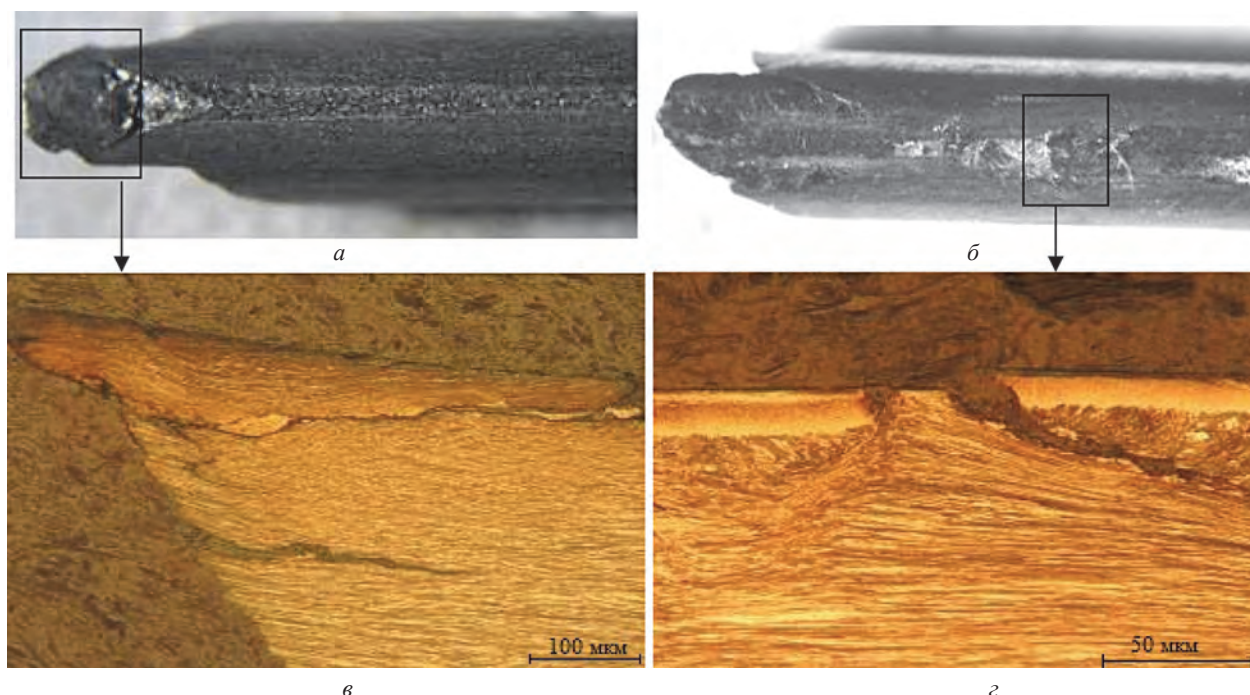


Рис. 5. Вид и микроструктура обрывов проволоки по причине наличия механических повреждений на катанке: *а* – обрыв проволоки, трещины без образования мартенситной структуры; *б* – обрыв проволоки, трещины по поверхностному мартенситу; *в* – неоднородная текстура, чрезмерно сжатые участки поверхности в зоне трещин; *г* – структура мартенсита в зоне трещин (*в*, *г* – продольное сечение проволоки, травление в реактиве «Нитал 2%»)

трещин – неоднородная неупорядоченная текстура, чрезмерно сжатые сплюснутые локальные участки поверхности, трещины глубиной 0,01 мм и более (рис. 4, *д*); глубина мартенситной структуры и трещин на некоторых участках достигает 0,05 мм (рис. 4, *е*).

Обрывы проволоки на грубом волочении на диаметре 1,97–1,60 мм из катанки с дефектами транспортировки, представленными на рис. 2, *а*, во время эксперимента не происходили, но наличие на поверхности структуры мартенсита, трещин является потенциально опасным фактором, который может привести к обрыву при дальнейшем производстве или обрыву готовой продукции. Обрывы проволоки подобного вида часто случаются на размотке агрегатов латунирования и бронзирования, где проволока подвергается изгибам. Необходимо отметить, что поверхностные дефекты, наследованные с катанки, всегда есть на проволоке, но обрывы случаются не по каждому дефекту, а лишь по некоторым.

К обрывам на стадии грубого, среднего волочения, стадии латунирования, бронзирования приводят глубокие механические повреждения катанки. Обрывы проволоки имеют внешний вид, аналогичный дефектам, представленным на рис. 3, 4, отличаются глубиной трещин, глубиной структуры поверхностного мартенсита. Обрывы проволоки по причине наличия механических повреждений катанки представляют собой хрупкие разрушения по разволоченным поверхностным трещинам поперечного характера (рис. 5).

В зависимости от степени повреждения на поверхности катанки от механического воздействия образуется локальный наклеп, на некоторых участках – структура мартенсита. При волочении марки стали 90 обрывы по причине механических повреждений катанки происходят уже на первом блоке волочильного стана или перед ним, при этом для обрыва достаточно незначительного истирания с образованием поверхностного мартенсита глубиной несколько микрон. При волочении менее углеродистых марок стали проволока рвется после обжатия на нескольких волокнах, в большинстве случаев после последней или на размотке агрегатов бронзирования (латунирования). В обрыве проволоки после обжатия на нескольких блоках поверхностные дефекты представляют собой светлые, блестящие на некоторых участках, неоднородные по ширине и длине, прерывистые полосы зон повышенной шероховатости, микротрещин, трещин, расположенные по образующей вдоль оси проволоки (рис. 5).

В некоторых случаях дефектные полосы расположены на поверхности проволоки по нескольким образующим в зависимости от степени развития дефекта на катанке. Протяженность дефектного участка может быть от 0,5 см до нескольких метров, дефектная полоса может заканчиваться, затем появляться вновь. Микроструктура обрыва проволоки в дефектной зоне неоднородная – чрезмерно сжатые сплюс-

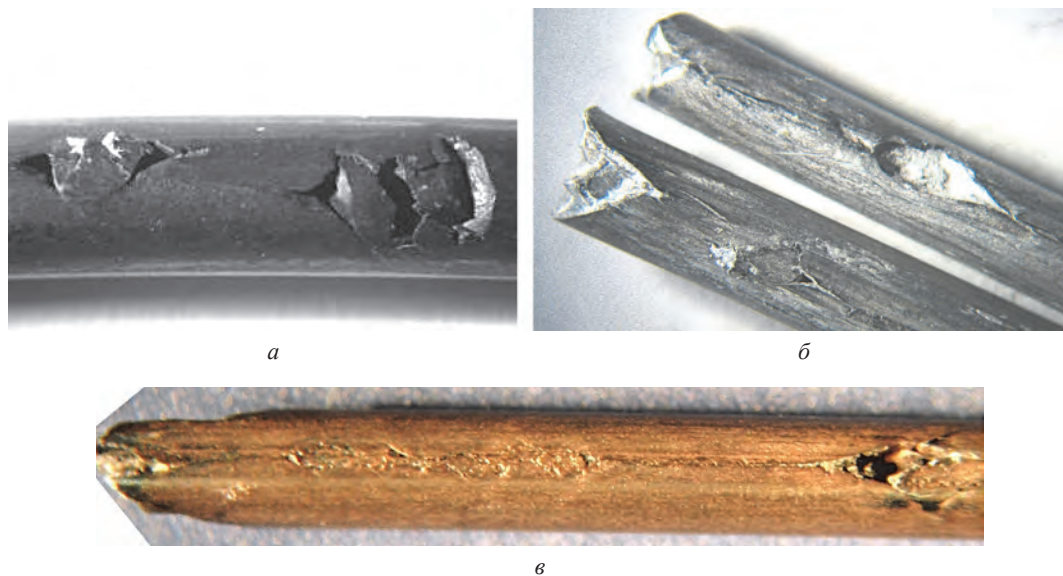


Рис. 6. Внешний вид катанки диаметром 5,5 мм (а) и обрывов проволоки (б, в) с вкатанными инородными частицами

щенные локальные участки поверхности, отсутствие упорядоченной текстуры, по сравнению с однородной текстурой деформации во всем сечении проволоки, трещины различной глубины (рис. 5, в, з). На некоторых участках дефектной зоны с трещинами наблюдается структура мартенсита, если проволока не проходила термообработку в сталепроволочном цеху (рис. 5, з). Трещины как в зоне мартенсита, так и без него могут иметь глубину от нескольких микрон до нескольких миллиметров. Обезуглероженный слой, окалина в дефектной зоне отсутствуют, если проволока не проходила термообработку в сталепроволочном цеху.

Дефекты типа задиров и истираний различной глубины и протяженности имеются на катанке всегда в зоне увязки бунтов, образуются при транспортировке и могут являться причинами обрывов проволоки. Однако обрывы на этапе грубосреднего волочения происходят не по каждому дефекту, а лишь по некоторым. Поэтому можно предполагать, что существуют другие факторы, связанные с качеством подготовки поверхности к волочению, режимами волочения и т. д., которые способствуют разрушению проволоки в зоне дефекта. Например, 90% обрывов происходят на проволоке, изготовленной на прямоточных станках, где применяются большие обжатия и высокие скорости. Однако наличие на проволоке участков с трещинами по причине механических повреждений катанки является важным и основным влияющим фактором.

2–3% обрывов на грубосреднем волочении, бронзировании и латунировании составляют обрывы по причине вкатанных инородных и стальных частиц, наследованных с катанки, образовавшихся в процессе ее проката (рис. 6).

Поверхностные дефекты катанки прокатного происхождения (вкатанные твердосплавные и стальные частицы) образуются из-за внедрения в поверхность прокатываемой заготовки инородных частиц в случаях разрушения прокатных валков, элементов проводковой и кантующей арматуры. По внешнему виду на волоченной проволоке указанные дефекты похожи на дефекты по причине механических повреждений с катанки, также представляют собой локальные участки разволоченных трещин поперечного характера. Однако в большинстве случаев дефекты из-за вкатанных инородных твердосплавных и стальных частиц более глубокие, часто локальные участки с трещинами поперечного характера соединены продольной трещиной (рис. 6, в). В случае протяженных и глубоких вкатанных частиц на катанке проволока расслаивается во время волочения по продольной трещине. Вкатанные в поверхность инородные и стальные частицы имеют микроструктуру, отличную от структуры основного металла – это частицы твердого сплава или стальные частицы другой марки, отличающейся от марки основного металла. На поверхности основного металла в дефектной зоне вокруг вкатанных частиц и в зоне трещин, образовавшихся при прокате из-за вкатанных частиц, в микроструктуре имеются обезуглероживание, окалина, в некоторых случаях сорбит отпуска, в некоторых случаях мартенсит.

Главной, характерной и отличительной особенностью поверхностных дефектов по причине механических повреждений катанки от поверхностных дефектов прокатного происхождения от поверхностных дефектов разволоченного сварного шва является отсутствие в микроструктуре металла в зоне дефектов

и трещин обезуглероженного слоя, окалины, сорбита отпуска (если проволока не проходила термообработку в сталепроволочном цеху). Отличие по внешнему виду от дефектов разволоченного сварного шва – отсутствие следов зачистки поверхности абразивным инструментом.

Для достоверной идентификации поверхностных дефектов, определения причин обрывов в каждом случае необходимо анализировать внешний вид и обязательно исследовать микроструктуру дефектной зоны. При необходимости для конкретизации источника образования частиц исследуется элементный состав вкатанных инородных частиц на растровом электронном микроскопе с рентгеновским микрозондом.

Международные мероприятия по литью и металлургии в 2018 году Foundry and Metallurgy International Events in 2018

Дата Dates	Наименование мероприятия Name of the Event	Место проведения Venue	Сайт Website
16–18 января Jan 16–18	Международная выставка литья под давлением EUROGUSS 2018 International Trade Fair for Die Casting EUROGUSS 2018	г. Нюрнберг, Германия Nuremberg, Germany	www.euroguss.de
1–3 марта March 1–3	Металл и Сталь/Выставка Среднего Востока 2018 Metal & Steel/FabEx Middle East Exhibition 2018	г. Каир, Египет Cairo, Egypt	
4–6 марта March 4–6	Гуанчжоуская Международная выставка литья и форм АЗИЯ 2018 Guangzhou International Mould & Die Exhibition AsiaMold 2018	г. Гуанчжоу, Китай Guangzhou, China	asiamold@china.messefrankfurt.com
20–22 марта March 20–22	Петербургская техническая ярмарка Petersburg Technical Fair	Санкт-Петербург, РФ S. Petersburg, Russia	www.ptfair.ru
3–5 апреля April 3–5	Киевская техническая выставка 2018 – машиностроение, металлургия, литье, трубы и др. Kyiv Technical Fair 2018 – machine building, metallurgy, foundry, pipes etc.	г. Киев, Украина Kiev, Ukraine	www.ies-expo.com.ua
10–13 апреля April 10–13	Международная выставка литейного производства и металлургических технологий «ЛитМетЭкспо 2018» International Foundry and Metallurgical Technologies Trade Fair LitMetExpo 2018	Минск, Беларусь Minsk, Belarus	www.alimrb.by www.minskexpo.com
16–20 апреля April 16–20	Проволока 2018 Wire 2018	Дюссельдорф, Германия Dusseldorf, Germany	www.wire-tradefair.com
26 апреля April 26	22 Глобальная конференция по поставкам литья 2018 22 nd Global Foundry Sourcing Conference 2018	Шанхай, Китай Shanghai, China	www.foundry-suppliers.com http://castings.foundry.cn
26–27 апреля April 26–27	Большая техническая конференция по литью Big Foundry Technical Conference 2018	Зальцбург, Австрия Salzburg, Austria	
23–25 мая May 23–25	17 Международная конференция литейщиков Точное литье и научные знания 17 th International Foundrymen Conference Hi-tech Casting Solution and Knowledge Based Engineering	Опатия, Хорватия Opatija, Croatia	www.simet.unizg.hr
23–25 мая May 23–25	Литье и металлургия CAST-EX Casting and Metallurgy CAST-EX	Нитра, Словакия Nitra, Slovakia	www.agrocomplex.sk
23–25 мая May 23–25	27 Международная конференция по металлургии и материалам МЕТАЛЛ 2018 27 th International Conference on Metallurgy and Materials METAL 2018	Брно, Чехия Brno, Czech Republic	www.metal2018.com.en
29.05–01.06 May 29–June 6	Литмаш 2018 (+Трубы, Металлургия) Litmash 208 (+Tubes, Metallurgy)	Москва, Россия Moscow, Russia	www.metallurgy-russia.ru
5–8 июня June 5–8	Форум по литью Фокаст Focast Foundry Forum	Познань, Польша Poznan, Poland	www.focast.pl/en
7–10 июня June 7–10	Конгресс по литью Норвежской литейной ассоциации Annual Foundry Congress of Norwegian Foundry Technical Association	Осло, Норвегия Oslo, Norway	www.stoperi.org
13–16 июня June 13–16	Интерформа-Нагойя, Литье и формы Азия, технологии штампа Японии Intermold-Nagoya, Die & Mold Asia, Japan Metal stamping technology	Нагойя, Япония Nagoya, Japan	www.intermold.jp
19–21 июня June 19–21	13 Международная выставка РОСМОЛД 2018. Формы, пресс-формы, штампы 13 International Exhibition ROSMOULD 2018. Moulds, die moulds, stamps	Москва, Россия Moscow, Russia	www.rosmould.ru
12–14 сентября Sept 12–14	37 Национальная Конференция Ассоциации металлургов Италии 37 th National Conference of Italian Metallurgical Association (AIM)	Болонья, Италия Bologna, Italy	www.aimnet.it
23–27 сентября Sept 23–27	73 Всемирный Конгресс по литью «Креативное литье» 73 rd World Foundry Congress «Creative Foundry»	Краков, Польша Krakow, Poland	www.73wfc.com
25–27 сентября Sept 25–27	22 Международная Ярмарка литейных технологий МЕТАЛЛ 2018 22 nd International Fair of Technologies for Foundry METAL 2018	Кельце, Польша Kielce, Poland	www.targikielce.pl
1–5 октября Oct 1–5	Международная выставка по литью ФОНД-ЭКСПО 2018 International Foundry Fair Fond-Ex 2018	Брно, Чехия Brno, Czech Republ	www.bvv.cz
9–11 октября Oct 9–11	12 Всемирная ярмарка и конференция «Алюминий 2018» 12 th World Trade Fair & Conference Aluminium 2018	Дюссельдорф, Германия Dusseldorf, Germany	www.aluminium-messe.com
16–17 октября Oct 16–17	XXVI Международная конференция «Литейное производство и металлургия 2018. Беларусь» XXVI International Conference «Foundry production and metallurgy 2018. Belarus»	Минск, Беларусь Minsk, Belarus	www.alimrb.by
25–27 октября Oct 25–27	Международная выставка трио по литью и металлургии 2018 года International Trade FairTrio 2018 foundry and metallurgy	Стамбул, Турция Istanbul, Turkey	www.ankiros.com



УДК 669.

Поступила 20.11.2017

**ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕКУПЕРАТИВНЫХ ГОРЕЛОЧНЫХ
УСТРОЙСТВ В ПЕЧАХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ
ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК В СПЦ-2
ОАО «БМЗ – УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БМК»**

**EXPERIENCE IN USE OF RECUPERATIVE BURNERS DEVICES
IN FURNACES OF PERIODIC ACTION FOR HEAT TREATMENT
OF BLANKS IN SPC-2 OJSC «BSW – MANAGEMENT COMPANY
OF HOLDING «BMC»**

Д. С. ЯДЧЕНКО, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная 37. E-mail: dimonworks@mail.ru

D. S. JADCHENKO, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin city, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: dimonworks@mail.ru

При строительстве и модернизации промышленных печей следует принимать во внимание следующие существенные факторы: с одной стороны должна быть обеспечена экономическая эффективность, а с другой – важно снизить вредные выбросы в атмосферу, улучшить условия труда персонала и т. п. При этом постоянно возрастающие требования к производительности и экологичности не должны отрицательно сказываться на периоде окупаемости затрат.

В данной статье рассмотрен опыт использования рекуперативных горелок. Рассмотрены как положительные, так и отрицательные аспекты использования горелок с точки зрения экономики, экологии и технологии.

Существенным исходным моментом оптимизации затрат является правильный выбор системы нагрева в комплексе с системой автоматического регулирования. Одним из примеров эффективной системы нагрева является горелка со встроенной системой подогрева воздуха (рекуперативная горелка), которая позволяет экономить топливо, уменьшить вредные выбросы и одновременно повысить технико-экономические показатели работы печей.

In building and modernizing industrial furnaces the following important factors should be taken into account: on the one hand, economic efficiency must be ensured, and on the other hand it is important to reduce harmful emissions into the atmosphere, improve the working conditions of personnel, etc. At the same time, constantly increasing requirements for productivity and environmental friendliness should not adversely affect the period of cost recovery.

This article considers the experience of using recuperative burners. Both positive and negative aspects of the use of burners are considered from the point of view of economics, ecology and technology.

An important initial point of cost optimization is the correct choice of a heating system complete with an automatic control system. One example of an effective heating system is a burner with a built in air heating system (recuperative burner), which saves fuel, reduces harmful emissions and simultaneously improves the technical and economic performance of the furnaces.

Ключевые слова. Рекуперативные горелочные устройства ECOMAX 2CB545 и BIO 65HB. Особенности использования рекуперативных горелок на печах отжига, с контролируемой атмосферой. Радиационные трубчатые нагреватели. Эксплуатация рекуперативных горелок. Система управления горелками. Экологические, экономические характеристики.

Keywords. Recuperative burners ECOMAX 2CB545 and BIO 65HB. Particularities of the use of recuperative burners on heating furnaces with controllable atmosphere. Radiation tube heaters. Operation of recuperative burners. Burner control system. Environmental, economic characteristics.

При расчете затрат на строительство и модернизацию промышленных печей необходимо учитывать следующие существенные факторы: с одной стороны, должна быть обеспечена экономическая эффективность, а с другой – важно снизить вредные выбросы в атмосферу, улучшить условия труда персонала и т. п. При этом постоянно возрастающие требования к производительности и экологичности не должны отрицательно сказываться на периоде окупаемости затрат.

Существенным исходным моментом оптимизации затрат является правильный выбор системы нагрева печи для термообработки заготовок в комплекте с системой автоматического регулирования. Одним из примеров эффективной работы печи является горелка со встроенной системой подогрева воздуха (рекуперативная горелка), которая позволяет экономить топливо, уменьшить вредные выбросы и одновременно повысить технико-экономические показатели работы печи.

С 2015 г. на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» в сортопрокатном цехе №2 функционируют печи с использованием схем косвенного нагрева (радиационные трубчатые нагреватели). Печь с роликовым подом для непрерывного отжига заготовок общей длиной 110 м включает 70 рекуперативных горелок ECOMAX 2CB545 мощностью 60 кВт и 14 горелок ВЮ 65НВ мощностью 30 кВт. Для повышения безопасности и удобства эксплуатации каждая горелка оборудована автоматом управления горелкой ВСУ. Двухкамерная печь периодического действия для термообработки мотков стана 370/150 в СПЦ-2 также оборудована рекуперативными горелками ВЮ 50 в количестве 16 шт. на каждую секцию. Печь периодического действия для термообработки прутков имеет три секции, каждая из которых включает в себя по 16 рекуперативных горелочных устройств тепловой мощностью 110 кВт каждая. Всего 164 горелки.

Промышленные газовые горелки со встроенным подогревателем воздуха предъявляют высокие требования к конструкционным материалам. Горячие продукты сгорания отводятся из рабочего пространства радиационных труб через корпус горелки, что ведет к существенно повышенному износу материала, применяемому для изготовления рекуператора. С другой стороны, система подогрева должна легко монтироваться и в течение долгого времени эксплуатироваться без значительного технического обслуживания. Установленные на печах термообработки горелки представляют собой «компромисс», являясь простыми, но эффективными по конструктивному исполнению.

Принцип работы

Рекуперативная горелка ECOMAX (рис. 1) использует тепло продуктов сгорания для подогрева воздуха, подаваемого на горение. В состав горелки входит необходимый для этого теплообменник (рекуператор). Схожее строение имеет рекуперативная горелка ВЮ (рис. 2).

Поступив в горелку, воздух на горение проходит через зазор между воздушной трубой и внутренней поверхностью рекуператора по направлению к носику горелки. Часть этого воздуха подается внутрь горелки для организации первой ступени горения. Оставшаяся часть воздуха на горение с высокой скоростью устремляется сквозь зазор между камерой горения и фронтальной частью рекуператора, где начинается вторая ступень.

Такой процесс горения обеспечивает наименьшее содержание токсичных составляющих в продуктах сгорания. Горячие дымовые газы выходят из печного пространства вдоль наружной поверхности рекуператора в противотоке с воздухом, идущим на горение. Тепло передается от горячих дымовых газов холодному воздуху на горение через стенку рекуператора. Горелка разжигается от запального электрода.

Горючая газозвушная смесь образуется за горелочной головкой. В конструкции горелочной головки предусмотрены щели и отверстия, которые влияют на степень и характер закручивания воздушного потока и определяют форму пламени. Геометрия газовых сопел зависит от типа газа.

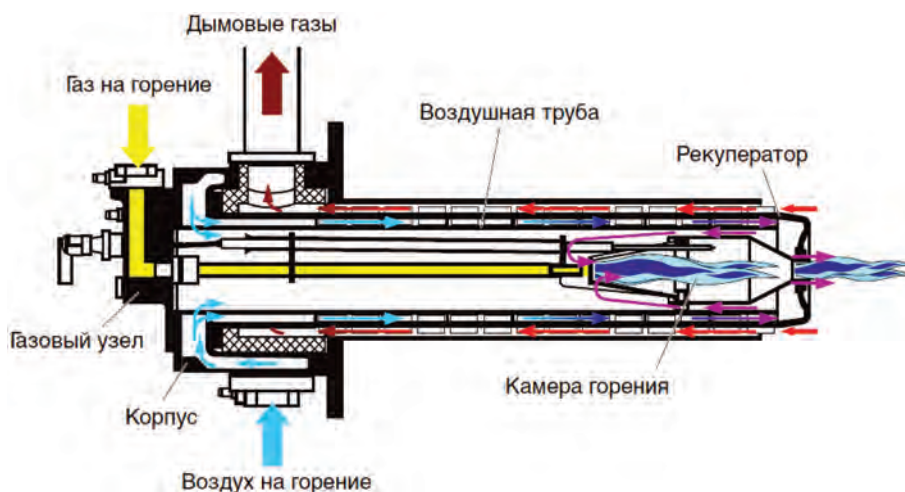


Рис. 1. Схема работы рекуперативной горелки ECOMAX

Газовоздушная смесь воспламеняется с помощью прямого электророзжига от электрода. Формирование пламени контролируется ионизационным электродом.

Работа печи основана на использовании непрямого нагрева. Ряд радиационных труб (рис. 3) расположен вдоль боковых стен печи для равномерного нагрева камеры излучением. Выбрана U-образная конфигурация труб. Каждая горелка соединена с одной двухступенчатой радиационной трубкой (U-образной, металлической). Этот принцип позволяет поднимать температуру, сохраняя защитную технологическую газовую среду, и при этом избегая прямого контакта с продуктами сгорания.

Применение рекуперативных горелок ведет к снижению расхода топлива и, следовательно, к сокращению эксплуатационных расходов. Снижение расхода топлива осуществляется за счет применения встроенного в горелку рекуператора. Экономия природного газа в результате использования подогрева воздуха является существенным элементом при анализе эффективности такой отопительной системы. Ребра на поверхности стального литого рекуператора значительно увеличивают поверхность теплообмена, что эффективно даже при низких температурах.

Применяемые горелки благодаря своей конструкции имеют высокий коэффициент использования топлива (КИТ) — до 90% и отличаются очень малым выбросом вредных веществ CO и NO_x. Горелки и излучающие трубы изготовлены с большим количеством деталей из устойчивой к термическому износу керамики, что обеспечивает долгий срок службы оборудования. При использовании рекуперативной горелки в радиационной трубе для получения равномерного температурного поля вдоль всей длины излучающей трубы горелка должна работать в режиме «включено/выключено». Плавное регулирование горелки отрицательно влияет на равномерность температуры вдоль излучающей трубы. Кроме того, высокая скорость истечения струи продуктов сгорания при номинальной мощности горелки является основой снижения содержания NO_x за счет рециркуляции дымовых газов на сопле керамической камеры сгорания. Диаметр выходного сопла камеры сгорания выбран таким образом, чтобы скорость струи составляла около 120 м/с. Обеспечивается низкое содержание NO_x в продуктах сгорания горелки при температуре печи 950°C.

В процессе эксплуатации горелок возникли неисправности, связанные с загрязнением функционально значимых элементов (электродов, сопел, отверстий). При таких неисправностях провели разборку горелки и осмотр всех ее деталей. Засорения оперативно удалили, поврежденные детали заменили.

Работа горелки должна регулярно контролироваться обученным персоналом в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

При обслуживании горелки необходимо проверять состояние смесителя (если необходимо провести его очистку); степень износа и положение запального электрода; состояние уплотнительных прокладок.

Профилактическая проверка загрязнения и состояния запального электрода производится один раз в 3 месяца. Для проверки запального электрода необходимо демонтировать газовый фланец с газовым коллектором и смесителем.

Наиболее подверженные повреждению и износу детали — это уплотнительные прокладки, запальный электрод.

Все неисправности оперативно устранялись обслуживающим персоналом, простота конструкции позволяет легко чистить и настраивать данные горелки. Неисправная горелка была заменена на новую. Автоматика дает возможность устранять неисправности даже на работающей печи, ведь отключая одну горелку, соседние поддерживают заданную температуру в этой зоне.

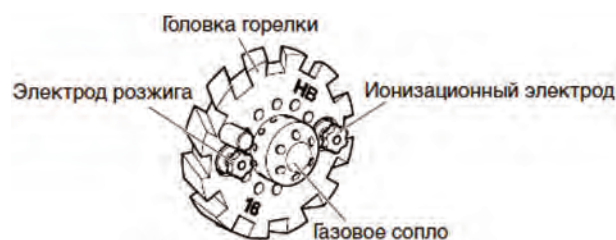


Рис. 2. Схема элементов розжига рекуперативной горелки ВЮ



Рис. 3. Схема расположения радиационных труб

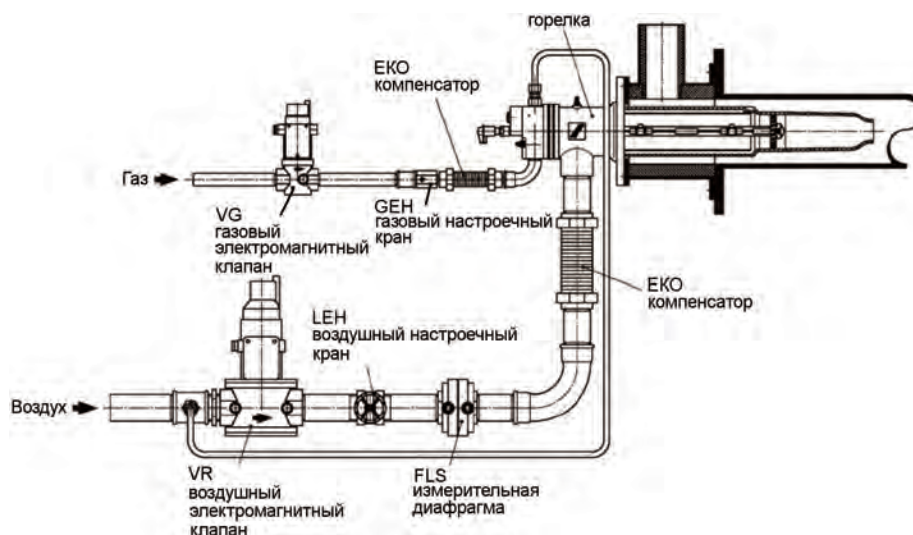


Рис. 4. Система управления горелки при установке в радиационной трубе

В стандартном исполнении пламя контролируется с помощью комбинированного ионизационного электрода, выполняющего также функцию розжига.

В комплекте с простой по конструкции рекуперативной горелкой целесообразно применение и простой системы управления. В качестве оснащения горелки установлено по одному регулирующему клапану на газо- и воздухопровод, которые имеют скорость открытия 3–5 с. На трубопроводах находятся диафрагменные узлы (FLS) для измерения расходов газа и воздуха в процессе наладки (рис. 4).

Достоинства и недостатки использования рекуперативных горелочных устройств приведены ниже.

Достоинства	Недостатки
Используются для сжигания природного газа в печах прямого и косвенного нагрева	Работа горелки должна регулярно контролироваться обученным персоналом
Горелки с керамическим рекуператором применяются до температуры 1250 °С	Электрод изготовлен из хрупкого материала Kanthal
Все элементы, установленные на газовой головке и корпусе, охлаждаются поступающим в горелку холодным воздухом	Необходимо производить профилактическую проверку загрязнения и состояние комбинированного ионизационного и запального электродов один раз в 3 месяца
Высокий КПД, КИТ и соответственно низкий расход топлива	Регулярная чистка и замена фильтров
Минимальное образование вредных выбросов CO и NO _x	Чувствительны к загрязненному воздуху, поэтому требуют регулярной настройки соотношения газ/воздух 3–6 мес
Простота регулирования давления в печи, высокая температура подогрева	Высокая стоимость рекуперативных горелок
Легко монтируются и демонтируются, имеют простую, но эффективную конструкцию	

За весь период эксплуатации существенных недостатков в работе горелочных устройств выявлено не было. Залог стабильной работы горелок – своевременное техническое обслуживание и наладка печей.

Применение горелочных устройств в печи термообработки заготовок

Наименование параметра	Опыт 1
Длительность цикла t , ч	24
Начальная температура металла t_1 , °С	24
Конечная температура металла в конце максимального нагрева t_2 , °С	900
Состав продуктов горения: двуоксид углерода CO ₂ , % оксид углерода CO, ppm оксиды азота NO _x , ppm	3,8 19 70
Удельный расход условного топлива на термообработку 1 т металла $B_{уд}$, кг/у. т./т	49,5
Коэффициент использования топлива $h_{ит}$, %	80,8

Как видно из таблицы, при работе нагревательной печи с помощью рекуперативных горелок коэффициент использования топлива составил 80,8% что подтверждает экономичность применения данных горелочных устройств. Продукция прошла технический контроль и соответствует регламентированному качеству.

Выводы

Рекуперативная горелка модульной конструкции предназначена для применения как в системах отопления печей с прямым нагревом, так и при косвенном нагреве радиационными трубами. При анализе экономических показателей рекуперативной горелки важно обратить внимание не только на экономию топлива. Чтобы иметь объективный взгляд, следует учесть многие факторы, от затрат на строительство и ввод в эксплуатацию до потребляемой мощности вентилятора. Горелка объединяет простую конструкцию и невысокие требования к техническому обслуживанию и одновременно характеризуется низким уровнем выбросов, высокой производительностью и достаточной экономичностью.

Рассмотренная в данной статье горелочная техника позволяет добиться значительной экономии энергии и снижения выбросов вредных веществ CO и NO_x. Децентрализованная рекуперация также является решением для достижения максимальной производительности печного агрегата.

При используемом тактовом управлении гибкость, точность и скорость управления, а также однородность распределения теплового потока в пространстве горения существенно лучше в сравнении с обычным методом пропорционального управления.

Многолетний опыт нашей работы показывает, что инвестиции в новые технологии нагрева, разработанные с учетом снижения выбросов вредных газов, обеспечивают не только уменьшение затрат на топливо и снижение загрязнения окружающей среды, но также повышают производительность и качество продукции.

Литература

1. Тимошпольский В. И., Трусова И. А., Менделев А. В., Герман М. Л. Теплотехническое и экономическое обоснование выбора оптимальной температуры нагрева воздуха в рекуператорах нагревательных проходных печей машиностроительных предприятий // Изв. вузов и высш. энерг. объедин. СНГ. Энергетика. 2009. № 3. С. 50–59.
2. Wunning J. Рекуперативные горелки для прямого нагрева промышленных печей // Gaswarne International. 1988. Т. 37. Вып. 10. С. 515–519.

References

1. Timoshpol'skij V. I., Trusova I. A., Mendelev A. V., German M. L. Teplotekhnicheskoe i jekonomicheskoe obosnovanie vybo-ra optimal'noj temperatury nagreva vozduha v rekuperatorah nagrevatel'nyh prohodnyh pechej mashinostroitel'nyh predpriyatij [Thermotechnical and economic substantiation of the choice of the optimum temperature of air heating in recuperators of heating pass-through furnaces of machine-building enterprises]. *Izvestija Vuzov i vysshih jenergeticheskikh ob'edinenij SNG. Jenergetika = Izvestiya of Higher Educational Institutions and Higher Energy Associations of the CIS. Power engineering*, 2009, no. 3, pp. 50–59.
2. Wunning J. Rekuperativnye gorelki dlja prjamogo nagreva promyshlennyh pechej [Recuperative burners for direct heating of industrial furnaces]. *Gaswarne International*, 1988, vol. 10, pp. 515–519.



УДК 669.18

Поступила 24.11.2017

ТЕПЛОВИЗИОННЫЙ И ВИБРАЦИОННЫЙ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ НА ОАО «БМЗ – УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БМК»

IR IMAGING AND VIBRATORY METHODS OF CONTROL AND DIAGNOSTICS OF THE EQUIPMENT AT OJSC «BSW – MANAGEMENT COMPANY OF HOLDING «BMC»

А. С. ШИНКАРЕВ, Е. В. ГАПЕЕНКО, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: as.shinkaryov@bmz.iron

A. S. SHINKAREV, E. V. GAPEENKO, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin city, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: as.shinkaryov@bmz.iron

В статье рассматриваются основные методы диагностики оборудования, используемые на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК». Представлены результаты диагностики различного оборудования с описанием приборов, непосредственно используемых для диагностики оборудования, которые позволяют выявить различные дефекты узлов оборудования еще на стадии их зарождения. Описаны преимущества рассматриваемых методов по сравнению с другими методами контроля и диагностики.

The article discusses the main methods of diagnostics of the equipment of OJSC «BSW – management company of holding «BMC». Presents results of diagnostics of various equipment with the description of the devices directly used for the diagnostic that can detect various defects of the equipment at the stage of their origination. Describes the advantages of these methods compared to other methods of control and diagnostics.

Ключевые слова. Вибродиагностика, тепловидение, дефекты, оборудование.

Keywords. Vibration – based diagnostics, IR imaging, defects, equipment.

Одной из наиболее важных и актуальных проблем современности является обеспечение надежности механизмов, машин и оборудования в любой отрасли промышленности. Это вызвано постоянным ростом объемов производства и повышением требований к качеству выпускаемой продукции.

Безопасная эксплуатация оборудования, повышение надежности и значительное увеличение ресурса машин, механизмов и оборудования невозможны в настоящее время без широкого применения методов и средств технической диагностики – области науки и техники, изучающей и разрабатывающей методы и средства определения и прогнозирования технического состояния механизмов, агрегатов, машин и оборудования без их разборки.

Среди множеств методов диагностики оборудования, широко используемых на практике, важное место занимают тепловизионный (термографический) и вибрационный методы контроля. Главное преимущество указанных методов состоит в том, что они позволяют выполнять проверку оборудования в процессе его эксплуатации. В действительности работа установки в режиме нормальной эксплуатации является предпосылкой для выполнения точных измерений, таким образом, не требуется остановка производственного процесса [1].

Тепловидение – метод анализа пространственного и временного распределения тепловой энергии (температуры) в физических объектах, сопровождающийся построением термограмм.

Термографическая диагностика позволяет обнаруживать дефекты футеровки, труб, теплоизоляции зданий и сооружений, электродвигателей, контактных соединений, участки перегрузки кабелей, произвести оценку теплового состояния трансформаторов различного назначения, подшипниковых узлов, их уплотнений и т. д. в процессе эксплуатации. Данная диагностика очень удобна, информативна и экономична.



Рис. 1. Тепловизор Flir ThermoCAM P65

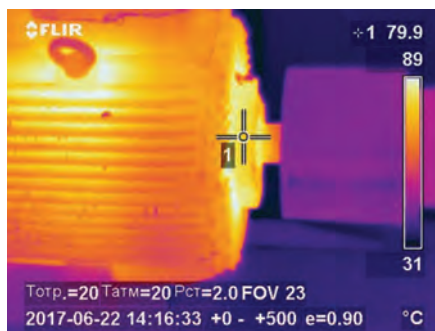


Рис. 2. Контроль температуры подшипников электродвигателя



Суть тепловизионного метода диагностики заключается в бесконтактной регистрации температурного поля на поверхности объекта измерительной аппаратурой, построении и анализе термограмм с использованием ЭВМ для обнаружения дефекта, его классификации и последующего принятия решения. Наличие дефекта при такой диагностике характеризуется резким повышением температуры в дефектной зоне по сравнению с качественными областями.

Методика тепловизионной диагностики:

- 1) для определения начальных условий диагностики измеряются параметры окружающей среды;
- 2) методом бесконтактного измерения температуры поверхности диагностируемого оборудования с помощью тепловизора FLIRThermoCAM P65 (рис. 1) производится регистрация температурных полей на термограмме;
- 3) на основе технической документации на диагностируемое оборудование и приведенных значений измерений производится сравнение термограмм с конструктивными особенностями и техническими характеристиками оборудования;
- 4) в результате анализа обнаруженных тепловых аномалий на поверхности диагностируемого оборудования определяются степень его дефектности и характеристики выявленных дефектов (рис. 2).

Измерение вибрации стало основой контроля технического состояния оборудования. Для этого вначале использовали механические виброметры, измеряющие амплитудное значение виброперемещения, в дальнейшем большее значение получил контроль виброскорости на базе электронных приборов.

Вибродиагностика, так же как и тепловизионный метод, является важным эффективным способом неразрушающего контроля технического состояния узлов роторного типа, позволяет выявить явно выраженные (дисбаланс, расцентровку, не достаточную жесткость опор), зарождающиеся дефекты подшипниковых узлов, дефекты электромагнитной системы электрической машины и др.

Для оценки технического состояния и диагностики оборудования используются следующие методы вибродиагностики: метод ПИК-фактора; метод по спектру вибросигнала; метод спектра огибающей; метод ударных импульсов [1].

Метод ПИК-фактора

Метод ПИК-фактора используется для контроля за техническим состоянием подшипников, по данному методу применяется простой виброметр, позволяющий измерять два параметра вибросигнала: среднеквадратичное значение уровня (СКЗ) вибрации, т. е. энергию вибрации, и пиковую амплитуду (ПИК) вибрации. Отношение двух этих параметров ПИК/СКЗ называется ПИК-фактором.

В осциллограмме нового, хорошо смазанного подшипника присутствует стационарный сигнал шумового характера. С течением времени по мере появления дефектов на деталях подшипника в сигнале начнут появляться отдельные, короткие амплитудные пики, соответствующие моментам соударения дефектов.

В дальнейшем с развитием дефекта сначала увеличиваются амплитуды пиков, потом постепенно увеличивается и их количество. Например, дефект, появившись на одном из шариков, создает впоследствии раковину на кольце, с него она переносится на другой шарик, дефекты шариков начинают вырабатывать сепаратор и т. д. до полного разрушения.

Результаты измерений по методу ПИК-фактора показаны на рис. 3. Сначала, по мере появления и развития дефекта, нарастает функция ПИК, а СКЗ меняется очень мало, поскольку отдельные, очень

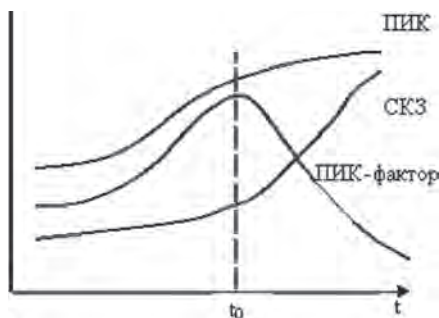


Рис. 3. Результаты измерений по методу ПИК-фактора

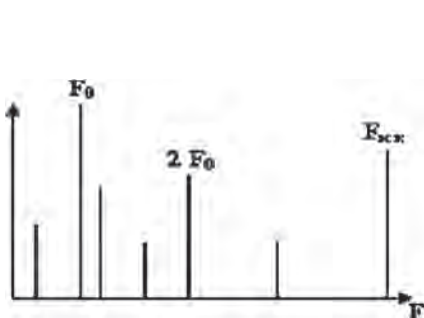


Рис. 4. Частотный состав спектра метода по спектру вибросигнала



Рис. 5. Прибор СД-12

короткие амплитудные пики практически не меняют энергетические характеристики сигнала. В дальнейшем по мере увеличения амплитуд и количества пиков начинает увеличиваться энергия сигнала, возрастает СКЗ вибрации.

Отношение ПИК/СКЗ из-за временного сдвига между ними имеет явно выраженный максимум на временной оси. На этом и основывается метод ПИК-фактора.

Метод по спектру вибросигнала

Метод по спектру вибросигнала базируется на анализе спектра вибрации – выявлении периодичности (частоты) появления амплитуды сигнала и по частотному составу спектра (рис. 4) можно идентифицировать возникновение и развитие дефектов подшипника. Каждому дефекту на элементах подшипника (тела качения, внутреннее и наружное кольцо, сепаратор) соответствуют свои частоты, которые зависят от кинематики подшипника и скорости его вращения.

Наличие той или иной частотной составляющей в спектре сигнала свидетельствует о возникновении соответствующего дефекта, а амплитуда этой составляющей – о глубине дефекта [2].

Метод спектра огибающей

Для контроля за техническим состоянием подшипников по методу спектра огибающей используется анализатор спектра вибрации с функцией анализа спектра огибающей высокочастотной вибрации. Метод базируется на анализе высокочастотной составляющей вибрации и выявлении модулирующих ее низкочастотных сигналов. Высокочастотная часть сигнала изменяет свою амплитуду во времени, т. е. она модулируется каким-то более низкочастотным сигналом. Выявление и обработка этой информации и составляют основу метода.

Распространенным прибором, имеющим функцию анализа спектра огибающей высокочастотной вибрации, используемым на предприятии, является СД-12 (рис. 5).

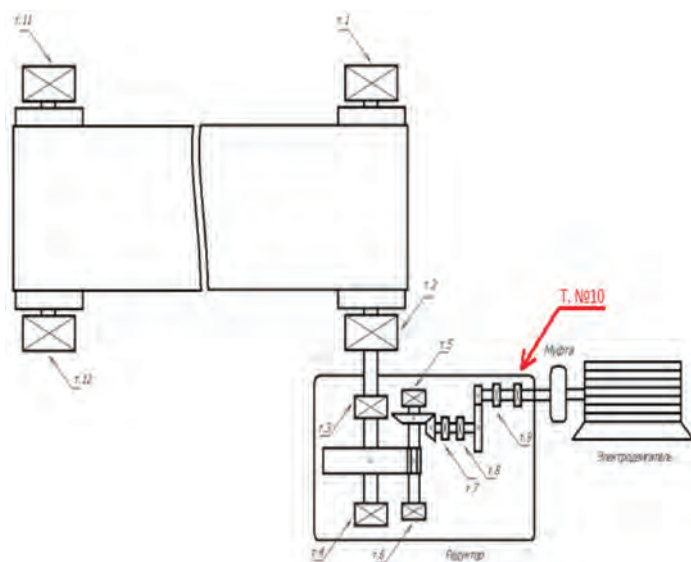


Рис. 6. Схема расположения точек контроля

Установлено, что наилучшие результаты метод дает в том случае, если анализировать модуляцию не широкополосного сигнала, получаемого от акселерометра, а предварительно осуществить узкополосную фильтрацию сигнала. Для этого отфильтрованный сигнал детектируется, т. е. выделяется модулирующий сигнал (огибающая сигнала), который подается на узкополосный виброанализатор и мы получаем спектр интересующего нас модулирующего сигнала или спектр огибающей. Что и дало название методу.

С помощью прибора СД-12 при анализе спектра огибающей в точке замера № 10 редуктора привода барабана (рис. 6) на конвейере № 0104 УОИ-1 копрового цеха был выявлен износ дорожки тел качения внутреннего кольца подшипника 6308 (рис. 7).

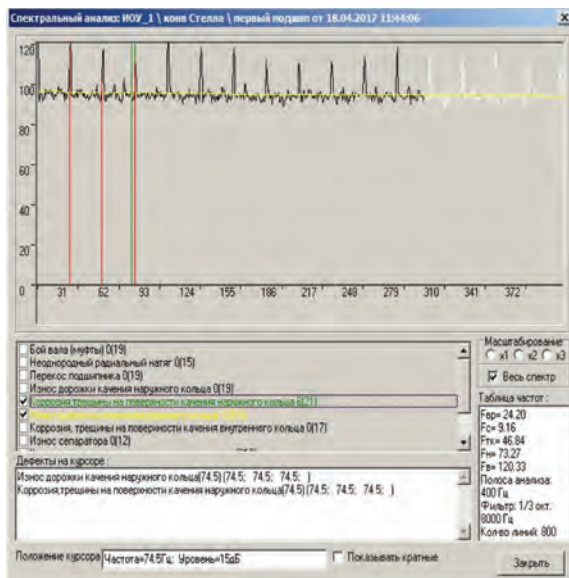


Рис. 7. Спектральный анализ

колебания в датчике (преобразователе).

Пиковое значение амплитуды этого затухающего колебания прямо пропорционально скорости удара v . Поскольку затухающий переходный процесс очень хорошо определяется и имеет постоянную величину затухания, его можно отфильтровать от других сигналов, т.е. от сигналов вибрации. Изменение и анализ затухающего переходного процесса – основа метода ударных импульсов. Частота соударения дефектов практически всегда лежит в диапазоне 28–32 кГц и эти колебания очень быстро затухают, поэтому на осциллограммах они выглядят практически как импульсы, что и дало название методу – метод ударных импульсов. Одним из основных приборов, позволяющих производить виброконтроль методом ударных импульсов, является «Leonova infinity» (рис. 8).

С помощью метода ударных импульсов был обнаружен дефект внутренней обоймы подшипника FAG 6234 электродвигателя 5E1KG02 мощностью 1600 кВт дымососа № 2 участка ПГУ-3 электросталеплавильного цеха № 2 (рис. 9).

Очень часто возникает вопрос, «как долго прослужит подшипник?» Вопрос о предполагаемом сроке службы подшипника решается на основе рассмотрения нескольких аспектов. Одни из них – это история подшипника, его текущее состояние, как многочисленны и насколько развиты имеющиеся дефекты?

Об этом можно судить по характерным особенностям в спектре и форме сигнала вибрации. В спектре будет наблюдаться размытие пиков и появление большой широкополосной области высокого уровня.

Как долго подшипнику осталось работать по сравнению с тем временем, что он уже был в эксплуатации? Когда появился первый дефект? Ответы на эти вопросы зависят от частоты вращения машины. Если она равна 1500 об/мин и выше, развитие дефекта пройдет все стадии до разрушения достаточно быстро. Если же она равна 300 об/мин и ниже, это может занять и несколько месяцев, особенно если дефект наблюдается на внешней дорожке. Выкрашивание и расслоение металлической поверхности дорожек могут наблюдаться в течение длительного периода времени и быть вполне допустимыми, так как частота вращения вала низкая [3].

Подшипники очень быстро будут выходить из строя, если нагрузка на них будет превышать установленные техническими условиями. Фактором, определяющим срок службы, является частота вращения. На срок жизни подшипника существенно влияет вибрация. Из практики следует, что повышение вибрации машины от 5 до 10 мм/с может сократить срок службы подшипника почти на 70 %.

Преимуществами тепловизионной и вибрационной диагностики по сравнению с другими методами контроля и диагно-

Метод ударных импульсов

Метод ударных импульсов широко используется для диагностики электродвигателей, насосного оборудования. Данный метод основан на измерении и регистрации механических ударных волн, вызванных столкновением двух тел. Ускорение частиц материала в точке удара вызывает волну сжатия, которая распределяется в виде ультразвуковых колебаний. Ускорение частиц материала в начальной фазе удара зависит только от скорости столкновения и не зависит от соотношения размеров тел. Период времени мал и заметной деформации не происходит. Величина фронта волны является мерой скорости столкновения (удара) двух тел. Во второй фазе удара поверхности двух тел деформируются, энергия движения отклонит тело и вызовет в нем колебания [2].

Для измерения ударных импульсов используется пьезоэлектрический датчик, на который не оказывают влияние фон вибрации и шум. Вызванная механическим ударом фронтальная волна сжатия возбуждает затухающие



Рис. 8. Прибор Leonova infinity

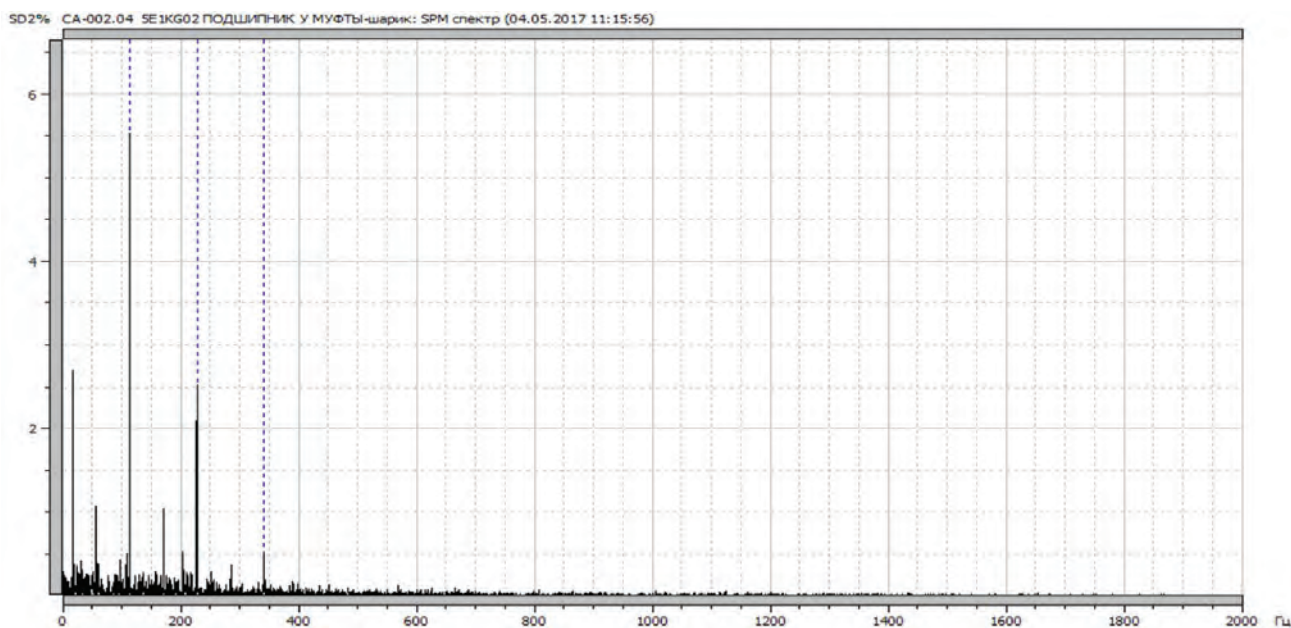


Рис. 9. Дефект внутренней обоймы подшипника FAG 6234

стики являются: обследование объектов в процессе эксплуатации без снятия напряжения; дистанционное обследование объектов в процессе эксплуатации без нарушения технологического процесса; возможность классификации дефектов по степени их опасности; возможность выявления в оборудовании дефектов на начальной стадии их развития.

Постоянный и своевременный контроль за техническим состоянием оборудования с помощью современных методов и средств технической диагностики позволяет проводить планово-предупредительные ремонты с высокой степенью эффективности, обеспечивать надежную, безаварийную работу оборудования, а также значительно сокращает его внеплановые простои. Использование данных методов на практике позволило сохранить в работоспособном состоянии оборудование участка ПГУ-3 электросталеплавильного цеха № 2, чем обеспечили плановые показатели выпуска продукции и предотвратили опасные выбросы продуктов горения в окружающую среду. За 2016 г. и первое полугодие 2017 г. на предприятии был проведен тепловизионный контроль 147 объектов, при проведении вибродиагностики было выявлено и устранено около 6500 замечаний. Накопленный многолетний опыт по диагностике оборудования, типовых дефектах, сроках их возникновения позволяет определить критический срок службы узлов, механизмов и их остаточный ресурс, что дает возможность не только спланировать сроки проведения ремонтов, но и разработать цикл их проведения с учетом статистических данных. Применение данных методов позволяет ежегодно экономить предприятию денежные средства на закупку и ремонт технологического оборудования, что также положительно сказывается на рентабельности предприятия и работе организации в целом.



Рис. 10. Выполнение контроля состояния подшипников входного вала редуктора КА-90 прибором Leonova infiniti инженером бюро МиТД сталеплавильного производства УОриТД ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»

Литература

1. Гольдин, А. С. Вибрация роторных машин / А. С. Гольдин. М.: Машиностроение, 1999. 344 с.
2. Радчик, И. И. Комплексный подход к вопросам повышения надежности работы основного и вспомогательного оборудования современного металлургического производства / И. И. Радчик, В. М. Рябков, А. Е. Сушко // Оборудование. Технический альманах. 2006. № 1. С. 24–28.
3. Сидоров, В. А. Выбор диагностических параметров стационарных систем контроля технического состояния металлургических машин / В. А. Сидоров, А.Е. Сушко // Техническая диагностика и неразрушающий контроль, 2010. № 4, С.46–50.



УДК 669.721

Поступила 16.10.2017

СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫЕ СИСТЕМЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

NEW-GENERATION STAINLESS STEEL SYSTEMS FOR METALLURGICAL PRODUCTION

*В. И. ЗОЛОТУХИН, А. Г. ГОЛОВКО, Е. И. ГОРДЕЕВ, Д. А. ПРОВОТОРОВ, НПП «Вулкан-ТМ»,
г. Тула, Россия, Алексинское шоссе, 34. E-mail: viz101@bk.ru*

*V. I. ZOLOTUKHIN, A. G. GOLOVKO, E. I. GORDEEV, D. A. PROVOTOROV, SPE «Vulkan-TM»,
Tula City, Russia, 34 Alexinsky highway. E-mail: viz101@bk.ru*

В статье рассматриваются вопросы разработки устройств для механизации и автоматизации управления потоком металла – шиберных затворов сталеразливочных ковшей нового поколения производства «Вулкан-ТМ», история развития их производства.

Показаны различные технические решения, лежащие в основе создания шиберных затворов серии «ВТ», инновационные решения, используемые при построении структурно-компоновочных схем затворов, их конкурентные преимущества.

Описаны конструкция и принцип действия новой разработки – устройства газодинамической защиты струи металла от вторичного окисления.

The article deals with the development of devices for mechanization and automation of metal flow control – steel-pouring ladles sliding gates of the new generation of Vulkan-TM production, the history of their production.

The various technical solutions underlying the creation of the sliding gates of the «VT» series, innovative solutions used in design of the sliding gates layouts and their competitive advantages are shown.

The design and operation principle of the new development – the device for gas-dynamic protection of the metal stream from secondary oxidation is described.

Ключевые слова. *Сталеразливочные системы, неформованные огнеупоры, линии производства порошковой проволоки, трайб-аппараты, шиберные затворы, шиберные плиты, устройство защиты металла от вторичного окисления.*

Keywords. *Steel casting systems, unmolded refractories, cored wire production lines, wire-feeding machine, slide gates, slide gate plate, metal protection device from secondary oxidation.*

Научно-производственное предприятие «Вулкан-ТМ», продукция которого широко известна в металлургической и литейной отраслях промышленности, в 2017 г. отметило свой 20-летний юбилей. История развития предприятия на всем протяжении своего существования отражала тенденции развития и возникающих потребностей отечественной металлургии и литейного производства, так как НПП «Вулкан-ТМ» всегда шло в ногу со временем, а иногда и опережало его в создании передовых инноваций.

Идеей создания предприятия была разработка устройств для механизации и автоматизации управления потоком металла – шиберных затворов сталеразливочных ковшей.

С самых первых дней создания предприятия велась разработка шиберного затвора с пружинным механизмом прижима огнеупорных плит, которые в России до того момента не производились. Лишь на некоторых металлургических заводах использовали затворы с жестким болтовым прижимом шиберных плит, как правило, созданные конструкторскими бюро этих же предприятий.

Начав с инновационных перспективных разработок, НПП «Вулкан-ТМ», создав собственную производственную и научно-техническую базу, на протяжении 20 лет продолжает успешно сочетать накопленный опыт, новые идеи и научные достижения при создании импортозамещающих и импортоопережающих конструкций.

Предприятие неоднократно становилось победителем конкурсов грантов с государственной поддержкой проектов, направленных на развитие стратегически значимых отраслей народного хозяйства.

В настоящее время основными направлениями производственной деятельности НПП «Вулкан-ТМ» являются:

- проектирование, производство и осуществление комплектной поставки современных сталеразливочных систем;
- производство неформованных огнеупоров, мертелей, бетонов, масс;
- производство оборудования для внепечной обработки и повышения качества чугуна и стали – продувочных донных пробок и узлов, линий производства порошковой проволоки, трайб-аппаратов;
- производство смесителей интенсивного действия.

В основе создания шибберных затворов серии «ВТМ» лежали различные технические решения, обуславливающие конкурентные преимущества, которые всегда отвечали требованиям своего времени. Инновационные решения, используемые при построении структурно-компоновочных схем затворов, заслужили признание потребителей, что подтверждено высоким уровнем надежности и прежде всего безаварийностью сталеразливочных систем.

Однако единой универсальной схемы компоновки затвора не было, практически каждая модель имела свою компоновочную схему, способ передачи усилия на шибберные плиты (рычажный, балансирный), количество используемых упругих элементов и различные способы фиксации плит.

Такое многообразие конструктивных исполнений вполне удовлетворяло самым различным условиям эксплуатации и обслуживания, но в связи с возросшей к тому времени потребностью металлургических предприятий в повышении многоплавочности огнеупоров возникла необходимость поиска технических решений, обеспечивающих надежную работу затвора при использовании многоплавочных шибберных плит. Требовалось более равномерное распределение нагрузки на плиты и повышение надежности опорно-прижимного механизма в условиях термоциклических нагрузок.

Решением, отвечающим новым эксплуатационным требованиям, стала разработка рычажно-балансирной схемы прижима плит с использованием двух вынесенных из зоны высокотемпературного нагрева жаропрочных упругих элементов.

Параллельно с разработкой новой схемы прижима плит разрабатывалась технология производства жаропрочных тарельчатых пружин, проводились научные исследования на всех этапах технологической цепочки. В результате удалось создать жаропрочные упругие элементы для всех моделей затворов, имеющих гарантированную стойкость в начале 1000 плавов, а после усовершенствования технологии достигнута стойкость 2500 плавов.

К 2012 г. НПП «Вулкан-ТМ» насчитывало порядка 7–8 серийно-выпускаемых моделей затворов, адаптированных под различные типы шибберных плит и их стойкость: затворы серии ВТМ – для низко- и среднестойких плит (до трех плавов), затворы серии ВТ – для многоплавочных плит. Также расширению номенклатуры затворов способствовало увеличение типоразмеров плит, активно поставляемых из-за рубежа и отсутствие возможности использования в одном затворе плит различных конфигураций. К этому моменту часть предприятий-потребителей продолжало использовать затворы серии ВТМ, на других были успешно проведены испытания затворов серии ВТ и начаты их серийные поставки («НСММЗ», г. Ревда, «УГМК-Сталь», г. Тюмень).

Концепции построения шибберных затворов нового поколения серии ВТ основаны на использовании как зарекомендовавших себя решений, так и принципиально новых. Технические решения широко апробированы на 16 литейных и 34 металлургических предприятиях.

НПП «Вулкан-ТМ» разработало линейку унифицированных шибберных затворов: для ковшей до 30 т – компактный затвор ВТ-30, для ковшей от 30 до 160 т – затворы ВТ-50 и ВТ-60/80, для большегрузных ковшей до 380 т – затвор ВТ-90.

В настоящее время номенклатура серийно-выпускаемых моделей затворов сокращена, это связано с переходом на выпуск унифицированных затворов серии ВТ, а предприятия, работающие на различных затворах серии ВТМ, постепенно были переоснащены унифицированными затворами нового поколения.

Принципиальная компоновочная схема затворов серии ВТ оптимальна для использования многоплавочных огнеупоров. Достижение «золотой середины» в поиске оптимальных компоновочных схем шибберных затворов было характерно для большинства ведущих европейских производителей затворов, таких, как «Interstop», «Vesuvius» и др. Их принципиальные схемы не претерпели каких-либо серьезных

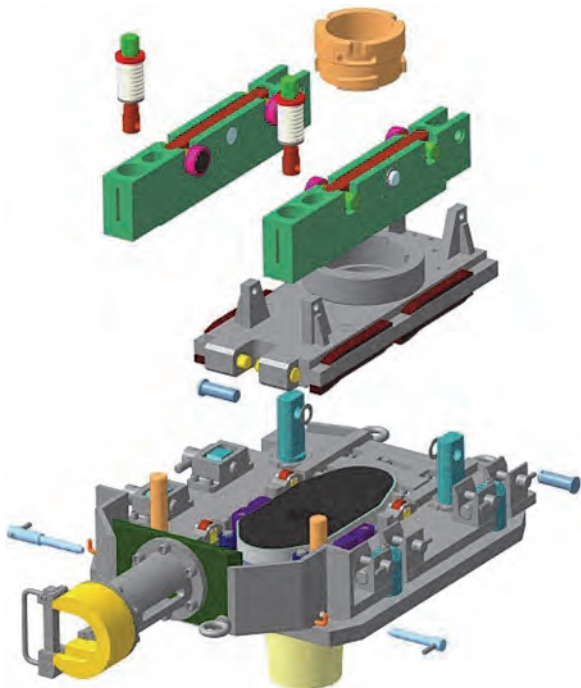


Рис. 1. Схема модульной компоновки шиберного затвора серии BT-60/80P

изменений за последние 5 лет и более, так как подтвердили свою оптимальность, а их доработки происходят в основном на уровне усовершенствования систем крепления шиберных плит.

Новые конструкции современных сталеразливочных систем серии ВТ основаны на адаптированности затвора к использованию шиберных плит различных типоразмеров и производителей.

Для шиберной разливки переход на использование плит других типоразмеров всегда означал лишь одно – необходимость смены модели шиберного затвора, в лучшем случае его кардинальную доработку, не всегда удовлетворяющую условиям габаритных ограничений и возможности сохранения посадочных мест. Очевидно, что все связанные с этим изменения характеризуются соответствующими затратами средств и времени.

Шибберные затворы серии ВТ – это не только альтернатива поколению затворов серии ВТМ, а прежде всего затворам ведущих фирм-производителей, таких, как «Interstop», «Vesuvius» и др. Затвор серии ВТ-60/80 не только не уступает им в функциональном плане, но и имеет ряд существенных преимуществ, что обосновывает его предпочтительность. В настоящее время затвор стал по-

бедителем ряда тендеров («УГМК-СТАЛЬ», «КМК-Темпо» и др.) с участием ведущих западных фирм-производителей шиберных затворов.

Новая модель шиберного затвора модели ВТ-60/80 для ковшей емкостью до 160 т имеет универсальный механизм крепления шиберных плит различных типоразмеров. Он позволяет переходить на плиту другого типоразмера без снятия затвора с ковша, время такой переналадки затвора не превышает среднего времени его обслуживания при смене шиберной керамики. Крепление плиты не требует обязательного наличия ответных элементов на ее обечайке. Запатентованный механизм фиксации плит прост и удобен в обслуживании, не предполагает использования каких-либо дополнительных оригинальных приспособлений.

Концепция модульного построения компоновочной схемы затвора (рис. 1), сложившаяся вначале развития фирмы и ставшая традиционной особенностью всей модельной линейки затворов производства НПП «Вулкан-ТМ», также используется в новой модели затвора ВТ-60/80P и даже более выражена, чем ранее.

Данный затвор имеет компоновку типа «книжка», функционально затвор разбит на унифицированные блоки, которые могут меняться непосредственно на ковше, при этом их модернизация или доработка не требует каких-либо доработок всего затвора в целом. Замена элементов конструкции блоками позволяет существенно сократить время обслуживания затвора на ковше. Наиболее изнашиваемые в процессе работы затвора элементы поставляются заказчику в комплекте ЗИП. К ним относятся байонетные гайки, подвижные каретки, траверсы, опорные ролики и др.

Для различных условий эксплуатации разработаны две модификации затвора: с вертикальным размещением на ковше (рис. 2, а) и горизонтальным размещением на ковше (рис. 2, б). Конструкция затвора позволяет устанавливать его на уже имеющиеся посадочные места и может быть легко адаптирована под существующие на предприятиях системы привода.

Инновационные универсальные механизмы крепления шиберных плит в затворе адаптированы под большинство наиболее распространенных типоразмеров плит. Для адаптации к посадке плит, имеющих существенные отличия в геометрии, поджимающая плиту скоба выполнена либо быстросъемной для быстрой переналадки затвора на другой типоразмер плиты, либо для компенсации разницы в габаритах могут быть использованы быстросъемные компенсаторы. На рис. 3 представлен вариант установки двух различных конфигураций плит 1 и 2 в посадочных местах шиберного затвора с использованием одной универсальной скобы 3 и быстросъемных компенсаторов 4.

Идея преодоления зависимости от использования одного типоразмера плит в шиберном затворе является достаточно актуальной в настоящее время. Известные европейские производители сталеразлив-

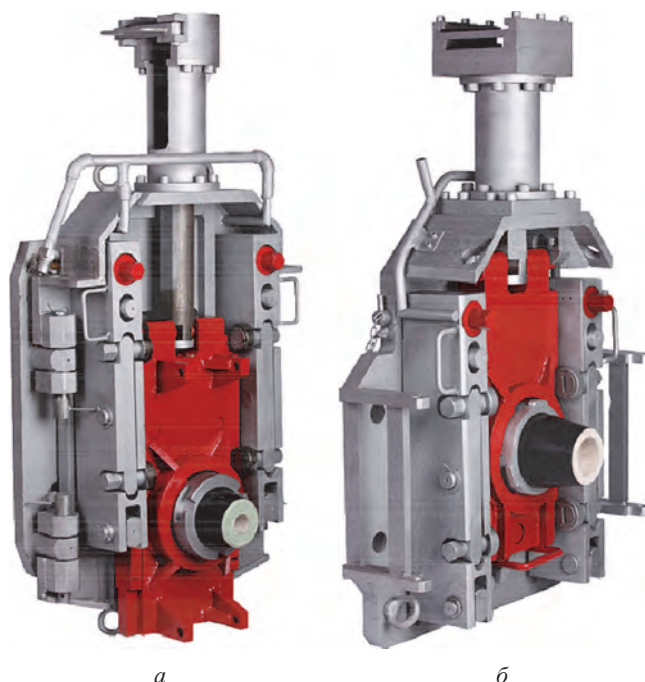


Рис. 2. Унифицированные шиберные затворы серии ВТ-60/80: *а* – модель ВТ-60/80Р с вертикальным размещением на ковше; *б* – модель ВТ-60/80М с горизонтальным размещением на ковше

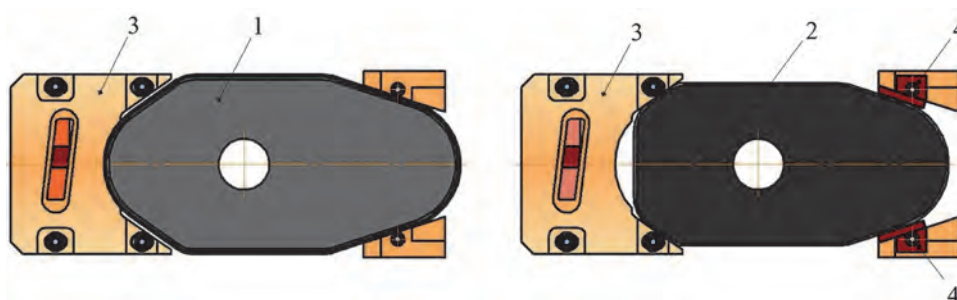


Рис. 3. Схема универсального крепления шиберных плит различных типоразмеров в шиберном затворе

вочных систем, такие, как «Interstop», «Vesuvius», «Кноллинг» и др., являясь также и производителями шиберной керамики, используют в своих моделях запатентованные решения по креплению шиберных плит в металлических обечайках, обязательно имеющих конструктивные элементы (пазы, выступы), соответствующих ответным частям посадочных мест. Очевидным является то, что в таких затворах никак не могут быть использованы плиты других поставщиков, что, в свою очередь, обязывает потребителя к покупке шиберной керамики одноименного поставщика.

Если говорить об использовании импортных затворов на российском рынке, то такая привязка к одному производителю существенно сказывается на удельных затратах на 1 т разливаемой стали, ставит потребителя в жесткую зависимость и изначально лишает каких-либо альтернатив.

Количество поставщиков шиберных плит в разы увеличилось за последние пять лет и такая тенденция продолжает сохраняться. Среди ведущих производителей высококачественных шиберных плит такие страны, как Китай, Индия, Испания и др., которые предлагают плиты в широком ценовом диапазоне, но заведомо ниже тех, к которым привязаны европейские шиберные затворы. Принимая во внимание, что в последнее время прогресс в качественных характеристиках предлагаемых плит также стремительно шагнул вперед (стойкость до 10 плавов), не трудно предположить, что эксплуатационные характеристики шиберных плит будут меняться в сторону увеличения их ресурсов работы. В этом отношении потенциальная адаптированность затвора к вновь появляющимся типам плит с улучшенными эксплуатационными характеристиками является весьма дальновидным решением.

Использование в одном затворе различных шиберных плит дает возможность потребителю осуществлять расширенный технико-экономический анализ на этапе планирования, в результате которого может проводиться оценка эффективности применения плит различных конфигураций, поставщиков и имею-

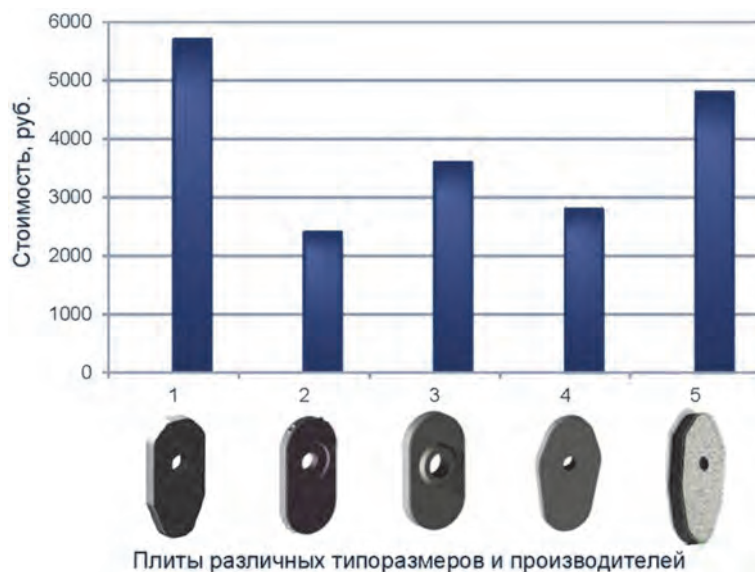


Рис. 4. Сравнительная диаграмма для проведения технико-экономического обоснования применения шибберных плит

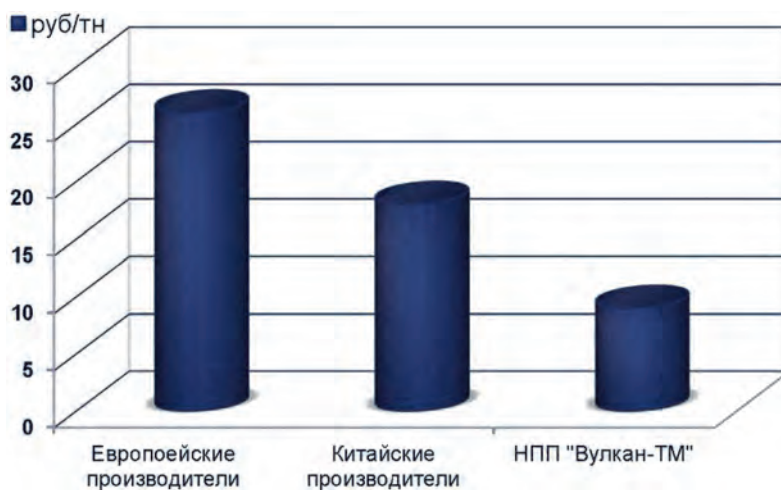


Рис. 5. Удельные затраты на шибберный припас

щих разные ценовые и эксплуатационные показатели (рис. 4). При такой комплексной оценке может быть обоснована целесообразность применения как многоплавочных плит, так и плит с невысокой стоимостью.

Наряду с предварительной технико-экономической оценкой целесообразности применения в затворе тех или иных плит существует возможность оценки эффективности их эксплуатации в период проведения промышленных испытаний затвора. После проведения такого комплексного анализа выбор потребителя останавливается на варианте с оптимальным сочетанием «цена-качество». Как показывает опыт, в конечном итоге потребитель отдает предпочтение одному, максимум двум типоразмерам плит.

На НПП «Вулкан-ТМ» более десяти лет налажено производство и поставка формованных бетонных огнеупорных изделий для шибберной разливки: стакан-коллектор в металлической обечайке, гнездовой стакан, гнездовые блоки различных типов и модификаций. Предприятие использует дифференциальный подход к каждому заказчику и разрабатывает конфигурацию и материалы на продукцию для конкретных условий эксплуатации.

В настоящее время НПП «Вулкан-ТМ» выпускает огнеупорные изделия со стойкостью, сопоставимой с основными мировыми поставщиками огнеупоров, такими, как «RHI», «Interstop» и «Vesuvius». Стоимость не уступающей по качеству шибберной керамики значительно ниже импортных аналогов, что отмечено потребителями в снижении удельных затрат на 1 т разливаемой стали (рис. 5).

Качественное сырье, а также рекомендации по его оптимальному использованию от ведущих производителей, таких, как «Алматис», позволяют находить новые решения для улучшения качества виброформованных огнеупоров.

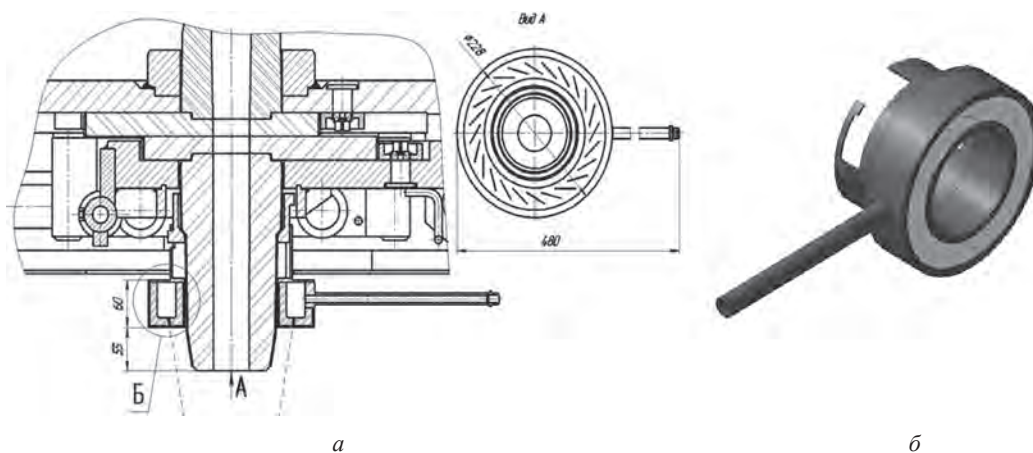


Рис. 6. Устройство газодинамической защиты металла от вторичного окисления: *a* – схема установки устройства на шиберном затворе; *б* – модель устройства

К новейшим уникальным разработкам НПП «Вулкан-ТМ», завоевавшим признание потребителей, относится устройство газодинамической защиты металла от вторичного окисления (рис. 6). Разработанное устройство монтируется на шиберном затворе путем защелкивания на байонетной гайке во время межплавочного обслуживания сталеразливочного ковша. Продувка аргоном осуществляется весь период разливки плавки. Стойкость системы защиты составляет до 7 плавов. Износ системы обуславливается накоплением металла на продувочные щели и растрескиванием огнеупорного кольца.

Представленный обзор импортозамещающего оборудования и инновационных разработок НПП «Вулкан-ТМ» отражает тенденции развития и роль накопленного опыта и потенциала в освоении вновь возникающих направлений производственной деятельности, всегда тесно связанных с актуальными потребностями металлургических и литейных производств.



УДК 621.783:519

Поступила 08.11.2017

УПРАВЛЕНИЕ ШЛАКОВЫМ РЕЖИМОМ В ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПЕЧАХ MANAGEMENT OF THE SLAG AJUSTMENT IN ARC FURNACES

С. В. КОРНЕЕВ, И. А. ТРУСОВА, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: korneev@bntu.by

S. V. KORNEEV, I. A. TRUSOVA, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: korneev@bntu.by

Рассмотрены шлаковый режим при выплавке стали в дуговых сталеплавильных печах, условия вспенивания шлака и газовая нагрузка при разном количестве подаваемого кислорода и различном содержании углерода в расплаве. Определено количество вдуваемых углеродсодержащих материалов в сталеплавильную ванну.

The slag adjustment during steel smelting in arc steelmaking furnaces, the conditions for sponging and the gas load at different amounts of supplied oxygen and the various contents of carbon in the melt were considered. The amount of blown carbon-containing materials in the steelmaking bath is determined.

Ключевые слова. Дуговая сталеплавильная печь, шлаковый режим, вспенивание шлака, окисление углерода, газовая нагрузка.
Keywords. Arc steel-smelting furnace, slag regime, sponging, carbon oxidation, gas load.

Введение

Шлаковый режим в электродуговых печах можно охарактеризовать отдельными составляющими, такими, как химический состав шлака, общее его количество и структурное состояние. Отметим, что эти составляющие взаимосвязаны и изменение одной из составляющих может отражаться на других составляющих. Химический состав шлака должен соответствовать условиям удаления фосфора или серы, кроме того, не оказывать значительного деструктивного воздействия на огнеупорные материалы сталеплавильной ванны. Количество шлака будет определяться начальным содержанием компонентов, переходящих в шлак из шихтовых материалов, и таких параметров, как основность и окисленность шлака, также связанных с его химическим составом. Исходя из термодинамики процессов удаления вредных примесей, большее количество шлака положительно влияет на результаты удаления фосфора и серы, однако приводит к дополнительным тепловым потерям, так как тепловая энергия скачанного жидкого шлака, как правило, не используется. Большее количество шлака положительно сказывается на его экранирующей способности и структурном состоянии (вспененное состояние или нет, гомогенный или гетерогенный шлак). Состояние шлака в свою очередь также отражается на его экранирующей и реакционной способности. Таким образом, воздействие на параметры шлака, оказываемое с одной целью, может положительно или отрицательно отражаться на других составляющих шлакового режима.

Шлаковый режим в высокомоощных электродуговых печах характеризуется использованием основных процессов, интенсивным периодом расплавления и коротким периодом рафинирования. Это приводит к возрастанию роли кинетики реакций и увеличению важности вопросов структурного состояния шлака.

Условия для вспенивания шлака. Типовой состав шлака приведен ниже.

Оксид	CaO	SiO ₂	FeO	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅
Содержание, %	30–40	15–18	20–35	4–9	8–12	5–10	1–1,5

Теплосодержание (энтальпия) шлака $i_{\text{ш}}$ незначительно зависит от его состава. В интервале температур 1200–1600 °С оно может быть рассчитано по формуле:

$$i_{\text{ш}} = 0,276 (T - 273) + 0,569 \cdot 10^{-3} (T - 273)^2, \text{ кДж/кг},$$

из которой следует, что энтальпия и теплоемкость шлака значительно выше, чем у железа (при 1600 °С): $c_{\text{ш}} = 2,09 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$. Таким образом, с жидким шлаком уносится много теплоты. Например, при количестве шлака 10% от массы металла (100 кг/т) шлак уносит 186 700 кДж/т стали. Чем ниже начальное содержание вредных примесей и пустой породы, тем меньше требуется извести и тем ниже в итоге энергозатраты, однако при этом возрастают требования к точности определения количества извести и режиму вспенивания шлака. При увеличении содержания MgO в шлаке свыше 12% шлак может налипать на футеровку, в результате чего сокращается объем печи.

В ряде работ указаны оптимальные составы шлака для получения максимального индекса вспенивания шлака, а также показано влияние таких параметров, как размер пузырьков и температура шлака. При этом по химическому составу выделяют области пенящихся и не пенящихся шлаков. Обобщая исследования различных авторов, можно отметить, что оптимальная основность шлака находится в диапазоне 2,0–2,5 при содержании FeO в диапазоне 20–30%. Кроме того, большое влияние на вспенивание шлака оказывает температура, так как с повышением температуры изменяется как плотность шлака, так и его вязкость. Данные различных исследователей показывают, что высота пены при увеличении температуры шлака от 1690 до 1750 °С может изменяться более чем в 2 раза.

Динамическая вязкость шлаков колеблется в широких пределах (0,01–0,4 Па·с) и служит важнейшим фактором, определяющим скорость всех диффузионных процессов в сталеплавильной ванне. Вязкость гомогенного (физически однородного) шлака непрерывно снижается с ростом его основности B . Вязкость гетерогенного шлака растет с увеличением основности B , что обусловлено повышением количества нерастворенных в шлаке частиц извести. При наличии гетерогенных шлаков повышение B неэффективно для удаления из металла серы и фосфора (степень десульфурации и дефосфорации металла оказывается значительно ниже теоретически возможной, которая достигается лишь при наличии гомогенного шлака). Повышение температуры и присадка раскислителей (бокситов, плавикового шпата, окалины) снижают вязкость шлака и увеличивают оптимальный верхний предел его основности, что способствует растворению в шлаке твердых частиц оксидов кальция и магния.

Вспенивание шлака зависит как от его состава, так и газосодержания слоя, а также от интенсивности генерации газа в слое, т. е. от газовой нагрузки. Причем высота вспененного шлака пропорциональна газовой нагрузке.

Например, в работе [1] высоту вспененного шлака находили из выражения:

$$H_{\gamma} = \frac{\xi Q}{S_c}, \text{ м},$$

где Q – интенсивность газовыделения, $\text{м}^3/\text{с}$; ξ – индекс вспенивания, с; S_c – площадь поперечного сечения пены, м^2 .

Поскольку индекс вспенивания ξ является характеристикой шлака и зависит от таких его свойств, как вязкость (μ , $\text{Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$), величина поверхностного натяжения (σ , $\text{Н}/\text{м}$) и плотность ($\rho_{\text{ш}}$, $\text{кг}/\text{м}^3$), то его уровень можно оценить по эмпирическому выражению:

$$\xi = \frac{115\mu^{0,5}}{\sigma^{0,2}\rho_{\text{ш}}D^{0,9}},$$

где D – диаметр пузырька СО в шлаке, м.

Из приведенного выражения следует, что при снижении вязкости ($\mu \rightarrow \min$) и увеличении плотности шлака ($\rho_{\text{ш}} \rightarrow \max$) индекс вспенивания уменьшается.

Плотность шлака $\rho_{\text{ш}}$ колеблется в пределах 2800–3200 $\text{кг}/\text{м}^3$. Повышение температуры на 100 °С снижает $\rho_{\text{ш}}$ на 70 $\text{кг}/\text{м}^3$. Увеличение количества (FeO) и (MnO) способствует возрастанию $\rho_{\text{ш}}$, так как $\rho_{(\text{FeO})} = 5800 \text{ кг}/\text{м}^3$ и $\rho_{(\text{MnO})} = 5700 \text{ кг}/\text{м}^3$.

В работе [1] показано, что на индекс вспенивания ξ наибольшее влияние оказывает графитовый порошок при содержании (FeO) $\approx 25\%$. Наибольший уровень подъема пены над шлаком H_{γ} наблюдается при использовании коксового и графитового порошка. В этом случае в исходном шлаке значения содержания (FeO) примерно одинаковы ($\approx 25\%$). При увеличении окисленности шлака (FeO $\rightarrow \max$) происходит снижение высоты вспененного шлака, что, видимо, вызвано изменением свойств шлака, а именно

снижением его вязкости и увеличением плотности. Этот вывод подтверждается максимальным значением индекса вспенивания ξ при «критическом» значении $(\text{FeO}) \approx 25\%$.

Современные методы контроля шлакового режима в электродуговых печах. В настоящее время существуют три принципиальных метода контроля наличия вспененного шлака возле электрической дуги: оптический, звуковой (виброакустический) и звуковой с токовыми сигналами.

Оптический способ основан на различном соотношении ультрафиолетового и инфракрасного излучения открытой и закрытой дуги и осуществлен в электродуговых печах путем установки оптического устройства непосредственно на манипуляторе, посредством которого происходит ввод через технологическое окно порошка углерода и кислорода. Звуковой способ основан на том, что открытая или закрытая дуга испускает звуковые волны различной интенсивности и частоты, что может использоваться для анализа состояния шлака (не вспененный, частично вспененный или вспененный). Современная модификация системы, основанной на виброакустическом способе контроля SIMELT FSM, была установлена на ОАО «БМЗ» в 2009 и 2011 гг. на двух из трех печей. Данная система построена на одновременном использовании трех виброакустических датчиков, расположенных в корпусе печи напротив электродов. Также анализируются колебания токовых сигналов от фаз, что в совокупности позволяет оперативно направлять материалы в необходимую зону печи при открытии дуг. Моделирование облученности стен печи при разной степени экранирования дуг вспененным шлаком показало, что использование системы контроля состояния шлака позволяет снизить энергопотребление на 2–10 кВт·ч/т (при общем снижении расхода электрической энергии за счет вспенивания шлака 20–30 кВт·ч/т), что согласуется с данными производственной эксплуатации печей с установленными системами SIMELT FSM. Кроме того, контроль вспенивания позволяет повысить надежность эксплуатации водоохлаждаемых корпусов и сводов и снизить простои, связанные с перегревом водоохлаждаемых панелей.

Определение газовой нагрузки при кипении ванны. Содержание кислорода в стали и шлаке увеличивается с уменьшением содержания углерода в соответствии с уравнением Вашера-Гамильтона:

$$\%C \cdot \%O = 0,0026 \text{ при } 1600^\circ\text{C}. \quad (1)$$

На рис. 1 представлена зависимость содержания кислорода в стали от содержания углерода согласно уравнению (1), а также приведены опытные данные производственных плавок в 100-тонных электродуговых печах Белорусского металлургического завода в конце окислительного периода.

Как следует из рисунка, условия окисления углерода в действующих электродуговых печах близки к условиям равновесия.

Скорость обезуглероживания можно определить из дифференциального уравнения [2]:

$$V_C = -\frac{d[\%C]}{d\tau} = \frac{0,75V_{O_2}}{1 + \frac{a}{[\%C]^2}}, \quad (2)$$

где V_{O_2} – скорость подвода кислорода в ванну, %/ч; a – коэффициент, учитывающий накопление кислорода в металле и шлаке ($a = 0,012\text{--}0,020$).

При удельных расходах кислорода 20–40 м³/т его удельный расход в килограммах (плотность кислорода – 1,429 кг/м³) составит 29–57 кг/т. При времени продувки, равной 25 мин, скорость подвода кислорода в ванну составит $(2,9\text{--}5,7) \cdot 60/25$ или 7–13,7%/ч. При удельном расходе кислорода 20 м³/т можно принять среднюю скорость обезуглероживания от 0,4 до 0,1%[C], равной 3,8%/ч.

Время окисления углерода можно определить, зная процент окисляемого углерода и скорость его окисления:

$$\tau_{\text{ок}} = K_{\text{ок}} (\tau_0 + \%C/V_C), \quad (3)$$

где %C – абсолютный процент окисления углерода; V_C – скорость обезуглероживания, %/ч; τ_0 – суммарное время наведения шлака и выдержки металла, ч; $K_{\text{ок}}$ – коэффициент, учитывающий возможное изменение длительно-

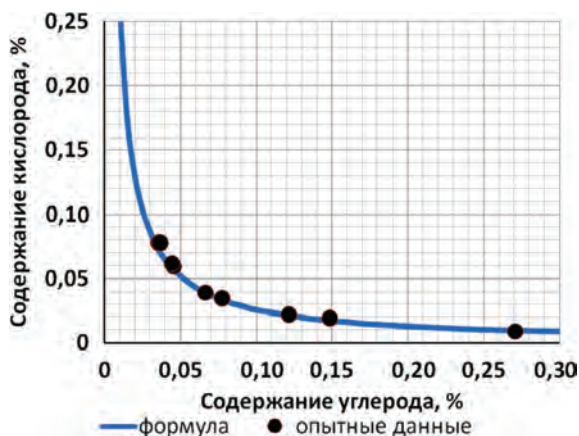


Рис. 1. Зависимость содержания кислорода в стали от содержания углерода

сти окислительного периода благодаря сокращению времени наведения шлака, выдержки или увеличения скорости обезуглероживания.

Средняя скорость окисления углерода при продувке газообразным кислородом в современных электродуговых печах составляет 3–5%/ч (0,05–0,08%/мин), а в случае использования твердого окислителя ~0,4%/ч (0,007%/мин).

В работе [3] указывается, что при расходе кислорода 1800–2400 м³/ч через водоохлаждаемую фурму скорость окисления углерода составляет 0,025–0,03%/мин, а через расходуемое «копье» – 0,01%/мин.

Для определения газовой нагрузки принимаем, что 100 % С окисляется в жидкой ванне до СО. Исходя из этого, можно найти расход кислорода на окисление примесей:

$$B_{O_2} = \frac{U_i^P M_{O_2}}{M_i}, \text{ кг,}$$

где M_i , M_{O_2} – соответственно молекулярная масса элемента и кислорода.

Расход кислорода на окисление углерода и количество газов при снижении содержания углерода на 1% при массе стали 1000 кг приведены ниже.

Расход кислорода, кг		Масса оксида СО, кг
С-16/12	13,33	23,33

Объем СО = 23,33/1,25 = 18,664 м³ при нормальных условиях. Объем СО при температуре 1600 °С – 128,05 м³.

Используя уравнение (2) и данные о количестве выделяющегося СО при окислении углерода, определяем газовую нагрузку при различном количестве подаваемого кислорода и разном содержании углерода в расплаве. Результаты расчета газовой нагрузки приведены на рис. 2.

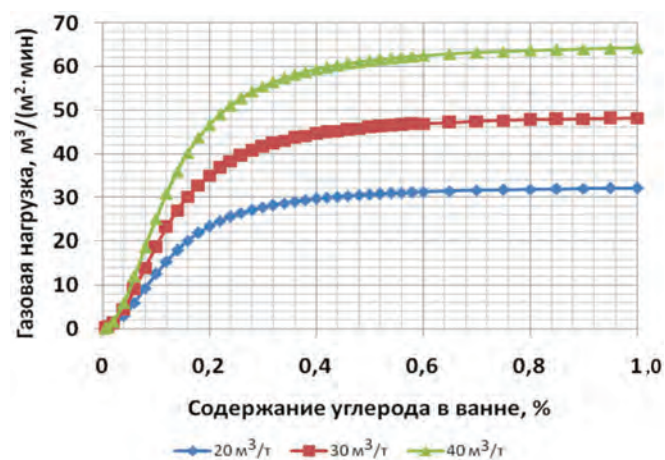


Рис. 2. Зависимость газовой нагрузки от содержания углерода в ванне при различном расходе кислорода

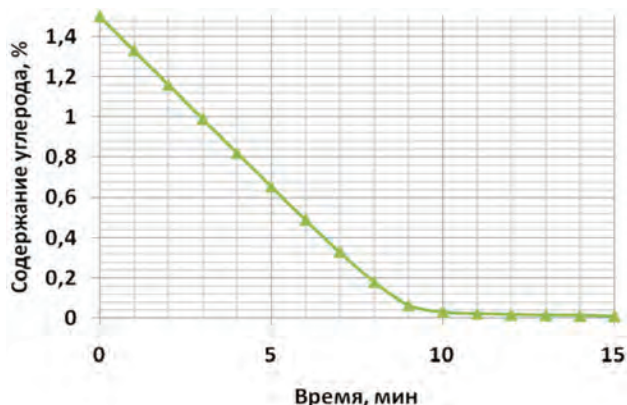


Рис. 3. Изменение содержания углерода в процессе плавки при расходе кислорода 40 м³/т

При концентрации углерода в металле, больше или равной критическому значению, скорость окисления углерода не зависит от концентрации углерода, а полностью определяется интенсивностью снабжения ванны кислородом, т. е. ограничивающей стадией является массоперенос кислорода в зону металла, при $C \geq C_{кр}$. Следовательно, ускорение процесса достигается за счет повышения интенсивности снабжения ванны кислородом.

При снижении содержания углерода ниже 0,3–0,2% газовая нагрузка начинает резко уменьшаться, а при снижении содержания углерода ниже 0,1% генерация газа недостаточна для поддержания вспененного состояния шлака даже при высоких значениях расхода кислорода.

На рис. 3 показано изменение содержания углерода во времени, а на рис. 4 – изменение газовой нагрузки с течением времени.

Характер изменения газовой нагрузки свидетельствует о необходимости подачи в сталеплавильную ванну углеродсодержащих материалов в количестве, компенсирующем снижение газовой нагрузки от окисления углерода в жидкой ванне. При этом подачу углерода можно осуществлять порционно или непрерывно путем дувания, а также комбинацией этих способов.

Учитывая, что существенное снижение газовой нагрузки (рис. 4) соответствует содержанию углерода 0,5–0,6% (см. рис. 3), данное количество углерода должно поддерживаться его добавкой в количестве не менее 600 кг на 100 т стали. С учетом инерционности процесса при подаче кусковых материалов и более низкого коэффициента усвоения материалов углерод целесообразно в основном подавать в порошкообразном виде на границу металла и шлака.

При этом необходимо принимать во внимание, что излишнее количество вдуваемых углеродсодержащих материалов может сказаться на снижении эффективности их использования, а также увеличении температуры газов в системе газоочистки [4].

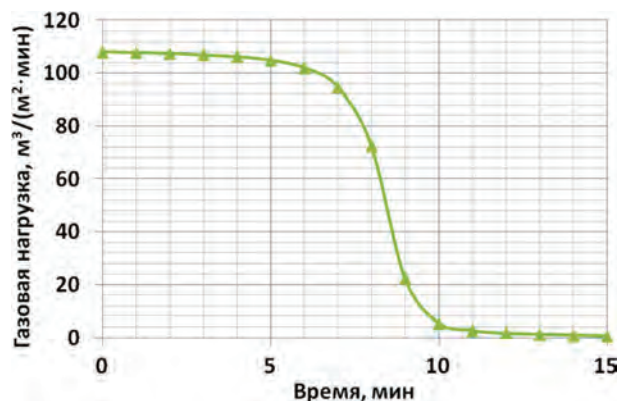


Рис. 4. Изменение газовой нагрузки в процессе плавки при расходе кислорода 40 м³/т

Литература

1. Кем А. Ю., Казарцев В. О., Меркер Э. Э., Харламов Д. А. К вопросу об оптимизации выплавки стали в дуговой печи и ее внепечной обработки в агрегате ковш-печь // Вестн. ДГТУ. 2014. Т. 14. № 2 (77). С. 66–73.
2. Айзатулов Р. С., Харлашин П. С., Протопопов Е. В., Назюта Л. Ю. Теоретические основы сталеплавильных процессов. М.: МИСИС, 2002. 320 с.
3. Фоменко А. П., Эндерс В. В., Якшук Д. С., Лейнвебер Е. И., Дьяченко Ю. В. Исследование технологических процессов выплавки кордовой стали сверхмощной дуговой печи // Сталь 2000. № 5. С. 35–37.
4. Бигеев В. А., Малофеев А. Е., Пантелеев А. В., Федянин А. Н., Брусникова А. В. Окисленность шлака современной дуговой сталеплавильной электропечи // Вестн. ЮУрГУ. Сер. Metallurgiya. 2010. Вып. 15. № 34.

References

1. Kem A. Yu., Kazartsev V. O., Merker Je. Je., Charlamov D. A. K voprosu ob optimizacii vyplavki štali v dugovoj pechi i ejo vnepechnoj obrabotki v agregate kovsh-pech' [On the optimization of steel smelting in an arc furnace and its out-of-furnace treatment in a ladle-furnace unit]. *Vestnik DGTU = Vestnik DGTU*, 2014, Vol. 14, no. 2 (77), pp. 66–73.
2. Ajzatulov R. S., Harlashin P. S., Protopopov E. V., Nazjuta L. Ju. *Teoreticheskie osnovy štaleplavil'nyh processov* [Theoretical foundations of steelmaking processes]. Moscow, MISIS Publ., 2002, 320 p.
3. Fomenko A. P., Jenders V. V., Jakshuk D. S., Lejnveber E. I., D'jachenko Ju. V. Issledovanie tehnologicheskikh processov vyplavki kordovoj štali sverhmoshnoy dugovoj pechi [Investigation of technological processes of melting cad steel of a super-powerful arc furnace]. *Stal' = Steel*, 2000, no. 5, pp. 35–37.
4. Bigeev V. A., Malofeev A. E., Panteleev A. V., Fedjanin A. N., Brusnikova A. V. Okislennošt' shlaka sovremennoj dugovoj štaleplavil'noj jelektropechi [Oxidation of the slag of the modern arc steel-making electric furnace]. *Vestnik JuUrGU, serija «Metallurgija» = Vestnik SUSU, series «Metallurgy»*, 2010, Vyp. 15, no. 34.



УДК 621.74:658.2

Поступила 13.10.2017

ЭКОНОМИКА, ЭКОЛОГИЯ, ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВ ЛИТЬЯ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

ECONOMY, ECOLOGY, ORGANIZATION OF FOUNDRY PRODUCTION BY LOST FOAM CASTING

О. И. ШИНСКИЙ, Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев, Украина, пр. Вернадского, 34/1. E-mail: aluprt@mail.ru,

Е. И. МАРУКОВИЧ, Институт технологии металлов НАН Беларуси, г. Могилев, Беларусь, ул. Б.-Бирюли, 11. E-mail: maruko46@mail.ru,

И. А. ШАЛЕВСКАЯ, В. О. ШИНСКИЙ, С. И. КЛИМЕНКО, Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев, Украина, пр. Вернадского, 34/1. E-mail: info66@mail.ru

O. I. SHINSKY, Physico-technological Institute of metals and alloys of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, 34/1, Vernadskogo ave. E-mail: aluprt@mail.ru,

E. I. MARUKOVICH, Institute of technology of metals of NAS of Belarus, Mogilev, Belarus, 11, B.-Birulya str. E-mail: maruko46@mail.ru,

I. A. SHALEVSKAJA, V. O. SHINSKY, S. I. KLIMENKO, Physico-technological Institute of metals and alloys of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, 34/1, Vernadskogo ave. E-mail: info66@mail.

Рассмотрен процесс получения отливок методом литья по газифицируемым моделям (ЛГМ) с точки зрения экономической эффективности и возможностей получения высокоточных отливок высокого качества с прогнозируемыми свойствами. Приведены показатели выброса вредных веществ при ЛГМ, разработаны мероприятия по их обезвреживанию и показана экологическая безопасность процесса.

The process of receipt of castings by Lost Foam Casting Process (LFCP) from the point of view of economic efficiency and possibilities of receipt of the high-fidelity and high quality castings with the forecast properties. Indexes of hazardous substances emissions at LFCP are defined, measures to purify are worked out and ecological safety of process is shown.

Ключевые слова. Литье по газифицируемым моделям, пенополистирол, выбросы вредных веществ, системы экологической защиты, себестоимость, металлоемкость, экономическая эффективность.

Keywords. Lost foam casting, expanded polystyrene, emissions of harmful substances, environmental protection systems, net cost, metal consumption, economic efficiency.

Литейное производство было и остается базой для машиностроения, авиастроения, энергетической отрасли, коммунального хозяйства и других отраслей народного хозяйства. В связи с увеличением требований к материалам и качеству литья, необходимостью быстрой переналадки производства, возможностью использования компьютерных технологий, 3D-проектирования на стадии разработки технологии и оснастки, использования станков с ЧПУ для изготовления оснастки или крупногабаритных моделей увеличивается интерес к технологии изготовления отливок методом литья по газифицируемым моделям (ЛГМ). При этом необходимо отметить, что на современном этапе развития литейного производства и экономики в целом снизилась потребность в массовом производстве и увеличился спрос на мелкие и средние серии отливок с повышенной размерно-весовой точностью. Развитие литейного производства сопровождается созданием самостоятельных не крупных цехов с гибкими технологиями получения отливок высокой точности и сложности, при этом метод литья по газифицируемым моделям оказался наиболее подходящим вместо литья в песчано-глинистые формы, по выплавляемым моделям, в металлические формы или других способов.

Суть технологии литья по газифицируемым моделям принципиально отличается от известных в мировой литейной практике [1, 2], так как только при реализации этого метода литейная модель находится

в форме во время ее заполнения расплавом металла. Собственно форма упрочняется до предельного уплотнения формовочного материала (ФМ) без связующего (кварцевый, цирконовый, металлический песок) за счет его виброуплотнения и создания разрежения в его поровом пространстве. Последнее позволяет за счет перепада давления между атмосферным и разрежением в форме доуплотнять ФМ.

По технологии ЛГМ модели изготавливают из пенополистирола (реже из других пенопластов) и помещают в формы из сухого песка без связующего. При этом модель замещается жидким металлом, который впоследствии кристаллизуется и затвердевает в вакуумируемой форме из несвязанного кварцевого песка. Вакуумирование кварцевого песка перед заливкой, в период заливки и кристаллизации металла обеспечивает прочность формы за счет перепада давления между атмосферным и внутриформенным, которое равно 0,05–0,09 МПа [3]. Кроме того, вакуумирование формы обеспечивает эвакуацию образовавшихся газов за пределы формы (контейнера) через вакуумпровод.

За время существования метода ЛГМ проведены широкомасштабные исследования гидрогазодинамики, тепломассообменных процессов, структурообразования и формирования физико-механических и эксплуатационных характеристик литых конструкций из железоуглеродистых и цветных сплавов при взаимодействии жидкого, затвердевающего сплава с продуктами термодеструкции, которые образуются в период испарения находящейся непосредственно в форме пеномодели под действием теплового потока заливаемого металла в форму.

На основании полученных знаний и установленных закономерностей созданы теоретические и технологические основы литья по газифицируемым моделям в вакуумируемые формы как минимум в десяти различных модификациях, включая получение моно- и армированных отливок [4], литых конструкций с дифференциальными свойствами из железоуглеродистых, цветных сплавов с использованием гравитационной заливки металла и под высоким регулируемым давлением. Также созданные во ФТИМС НАН Украины разновидности методов литья различаются и по способу применения моновысокопористых пенополистироловых моделей, а также моделей, наполненных макро-, микроармирующей фазой и модифицирующими, легирующими компонентами.

Базовый технологический процесс получения отливок по газифицируемым моделям гравитационной заливкой [5] включает в себя выплавку стали, чугуна, медных и алюминиевых сплавов в электрических дуговых и индукционных печах, а также в печах сопротивления при выполнении следующих технологических операций:

- подготовка и транспортировка шихтовых материалов и ферросплавов к плавильным печам;
- выплавка металла требуемого химического состава в электрических плавильных печах;
- предварительный нагрев заливочных ковшей с использованием плазменной установки;
- заливка металла с монорельса механизированными ковшами в вакуумируемые формы на заливочном стенде автоматизированной формовочно-заливочной линии;
- охлаждение отливок в формах на охлаждающей ветви автоматизированной формовочно-заливочной линии;
- удаление формовочного материала и отливок из контейнера на стенде автоматизированной формовочно-заливочной линии;
- транспортировка формовочного материала с помощью вакуумпескопровода в вакуумируемый промежуточный и раздаточный силосы автоматизированной формовочно-заливочной линии;
- регенерация формовочного материала в установках терморегенерации песка;
- охлаждение формовочного материала в холодильниках песка;
- обезвреживание выделяющихся при термическом разложении пенополистирола газов в установках термокаталитического дожигания газов;
- транспортировка отливок и модельных блоков в специальную тару для последующей передачи на участок финишных операций.

Применение процесса литья по газифицируемым моделям позволяет исключить энергоемкие, трудоемкие, экологически опасные процессы, такие, как приготовление формовочных и стержневых смесей, изготовление из них традиционным способом форм и стержней, выбивку отливок и сокращать обрубку и очистку отливок более чем на 50%.

Так, отсутствие традиционных форм и стержней при изготовлении отливок массой до 1000 кг позволяет сократить количество вспомогательных литейных материалов до 4: кварцевый песок, противопригарные покрытия, пенополистирол, пленка полиэтиленовая, расход которых составляет (на 1 т годного литья) 100, 25, 6 кг и 10 м² соответственно.

В связи с возможностью размещения при этом методе литья моделей (отливок) в контейнере во всем его объеме (пространственное) в отличие от традиционных методов литья в формах, где они находятся только в плоскости разреза формы, выход годного по стальному и чугунному литью возрастет до 70–90%.

Повышение размерной точности отливок данной номенклатуры до уровня 6–7-го класса против 9–11-го класса по ГОСТ 26645-85 дает возможность снизить массу литья не менее чем на 15%, а в случае замены литья по выплавляемым моделям равнозначной точности обеспечит снижение энергетических, материальных затрат и трудоемкости в 2–4 раза.

Исключение из технологического процесса трудоемких операций, как смесеприготовление, изготовление стержней, сокращения финишных операций на 50%, позволяет достичь снижения трудоемкости производства отливок на 20–40%, а численность производственного персонала и площади – соответственно в 1,5–2,0 и 2–3 раза в сравнении с современными способами литья в песчаные формы.

В технологическом процессе получения литейных пенополистироловых литейных моделей, в том числе при вспенивании полистирола, изготовлении моделей в автоклавах, на полуавтоматах и механическом их изготовлении образуются отходы пенополистирола.

С целью нейтрализации и утилизации этих отходов в Физико-технологическом институте металлов и сплавов НАН Украины разработаны технологии компактирования отходов пенополистирола путем его термической обработки и растворения в нетоксичных растворителях. При этом их объем уменьшается в 100–200 раз (плотность 500–1000 кг/м³), т. е. снижается до объема 2–3 м³ и в таком виде может накапливаться в действующем производстве до его транспортировки в зону захоронения. Вместе с тем, в Физико-технологическом институте металлов и сплавов НАН Украины разработаны технологии изготовления из отходов пенополистирола литейных связующих, лаков, красок и теплоизоляционных декоративных плит, используемых в строительстве. При необходимости возможен сбор бытовых отходов полистирола и организация массового производства вышеуказанных материалов. Указанные разработки защищены шестью патентами на изобретения.

Расширение объема литейного производства за счет его реконструкции на основе новых методов литья по газифицируемым моделям не приведет к экологической напряженности и негативному воздействию на окружающую среду, а наоборот, существенно сократит вредные выбросы пыли и газов в атмосферу цеха и окружающую среду.

До настоящего времени в литейном производстве применяется технология литья в песчаные формы со стержнями, при этом расход формовочных, стержневых материалов, бентонита, связующих, покрытий составляет не менее 2500, 500, 100, 120 и 80 кг. Применение метода литья по газифицируемым моделям потребует расход кварцевого песка до 100 кг, противопожарного покрытия – 25, полистирола – 6 кг, а остальные материалы, присущие литью в песчаные формы, вовсе отсутствуют. Это позволяет сократить вредные выбросы пыли и газов в окружающую среду при производстве стального литья в 10 раз.

Для защиты субъектов и окружающей среды при проектировании литейного цеха ЛГМ предусматриваются системы пассивной и активной экологической защиты, которые входят в его состав и являются уникальными:

- вакуум-всасывающие системы удаления и локализации вредных выбросов, образующихся при заливке металла в форму, затвердевании, охлаждении и удалении отливок из формы и транспортировка их в системы окончательной нейтрализации;

- установки термокаталитического дожигания газов;
- установки терморегенерации формовочного песка;
- герметично закрытая вакуум-транспортная система регенерации формовочного материала;
- газоочистная система для очистки вредных выбросов при плавке металла в индукционных печах.

К тому же широко используются система оборотного водоснабжения на всех технологических переделах производства отливок по газифицируемым моделям, местные отсосы вредных выбросов от оборудования, которое работает с тепло-, газо- и пылевыведением.

Производство моделей осуществляется на участке изготовления пенополистироловых моделей, где находится оборудование, которое может образовывать вредные выбросы. Вместе с тем, исследования, проведенные в ФТИМС НАН Украины, показали, что показатели содержания вредных веществ в атмосфере рабочей зоны этого оборудования значительно ниже предельно допустимых концентраций (ПДК) (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Содержание вредных веществ в рабочей зоне оборудования участка производства литейных полистироловых моделей

Процесс (оборудование)	Содержание вредных веществ, мг/м ³			
	изопентан	бензол	толуол	стирол, бензальдегид
Предварительное вспенивание (ванны вспенивания, предвспениватель)	3,2–3,6	0,3–1,8	0,2–0,5	Не обнаружены
	5,0*	5,0 -15,0*	50,0* (по ГОСТ 12.1.005)	
Изготовление моделей: после изготовления моделей при раскрытии пресс-форм в процессе изготовления (при открытии автоклава. Пресс-формы на полуавтомате и сбросе пара из агрегатов)	3,6–4,0	0,2–0,8	0,1–0,2	Не обнаружены
	5,0*	5,0 -15,0*	50,0*	
	2,3–3,0	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружены
	5,0*			

* Предельно допустимые концентрации в рабочей зоне оборудования (ГН 2.2.5.1313–03).

Анализ полученных данных в сопоставлении со значениями ПДК для образующихся паров вредных веществ показывает, что нет необходимости в создании специальных систем их нейтрализации.

При разработке новых технологических процессов особенно важно было создать систему экологической безопасности, которая позволяет идеально защитить биологические объекты и окружающую среду от вредных выбросов, образующихся в результате термодеструкции газифицируемой модели. Для этой цели в Физико-технологическом институте металлов и сплавов НАН Украины были проведены соответствующие исследования условий термодеструкции пенополистироловых моделей на всей стадии их контакта с жидким, затвердевающим металлом и при охлаждении отливки.

При этом были установлены два периода термодеструкции пенополистироловой модели в форме: при заполнении формы металлом и при затвердевании и охлаждении в ней отливки. При этом второй период характеризуется конденсацией продуктов термодеструкции на зернах формовочного материала, что указывает на необходимость обязательного его периодического обезвреживания. Конечными продуктами термодеструкции являются водород H_2 , оксид углерода CO , метан CH_4 , этилен, этан C_2H_6 , ацетилен C_2H_2 , пропилен C_3H_6 и углеводород C_nH_{2n+2} [6].

Также были установлены технологические пределы, которые создают наибольшую концентрацию вредных выбросов. Так, при заливке форм металлом в температурном интервале 1250–1550 °С количество выделившихся газов составило 23 см³/г пенополистирола. Состав образующихся при этом газов приведен в табл. 2.

Т а б л и ц а 2. Качественные и количественные характеристики продуктов термодеструкции полистирола

Формула	H_2	O_2	N_2	CO	CH_4	C_2H_4	C_2H_6	C_2H_2	C_3H_6	C_3H_8	C_5H_{12}
Масса	1,64	12,92	60,2	4,72	3,36	4,48	5,77	0,17	0,63	0,1	5,77
Объем, см ³ /2 г	48,4	20,8	110,8	8,9	10,8	8,2	9,9	0,35	0,78	0,1	4,1

Концентрация стирола ниже ПДК (5 мг/м³) и составляет в зоне заливки 1,5–2,0 мг/м³, а над литейной формой – 4,0–4,5 мг/м³. Концентрация толуола в зоне заливки не превышает ПДК – 50 мг/м³ и составляет 45–48 мг/м³, а над формой превышает ПДК и составляет 75–80 мг/м³. Концентрация бензола как в зоне заливки (10 мг/м³), так и над формой (16–18 мг/м³) не превышает ПДК (20 мг/м³).

При исследовании количественного и качественного состава продуктов термодеструкции ГМ в период охлаждения отливок из железоуглеродистых сплавов установлено, что общее количество выделяющихся газов $q_{ox} = 310–320$ см³/г. Концентрация стирола над формой достигает к концу охлаждения 10–12 мг/м³ и в зоне заливки – 6–7 мг/м³, что превышает ПДК. Концентрация толуола к концу охлаждения составляет в зоне заливки 1–2 мг/м³ и над формой – 25–28 мг/м³, т. е. значительно ниже ПДК. Концентрация бензола к концу охлаждения составляет в зоне заливки 4–5 мг/м³ и над литейной формой – 3–8 мг/м³, что значительно ниже ПДК. Концентрация тяжелых углеводородов в воздушной среде падает к концу охлаждения отливки и составляет в зоне заливки 50–100 мг/м³, а над литейной формой – 280–300 мг/м³, т. е. не выходит за допустимые нормы ПДК.

При выбивке формы количество паров стирола, толуола, бензола в зоне выбивки превышает ПДК в 1,5–2,0 раза.

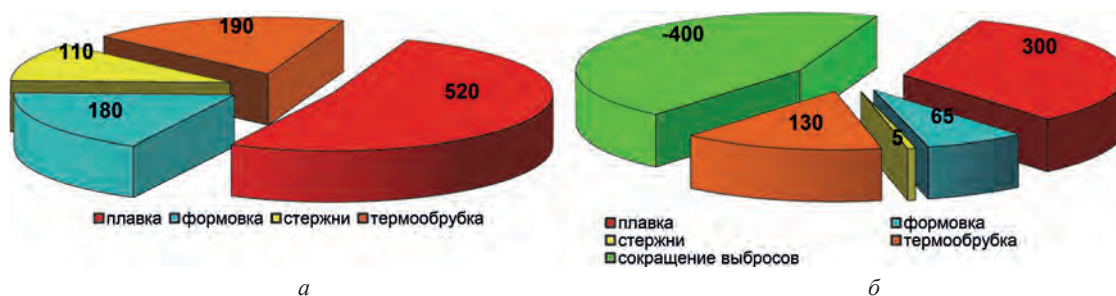


Рис. 1. Распределение объемов выбросов по технологическим операциям при различных способах литья: *а* – объем выбросов, т/тыс. т литья в песчано-глинистые формы (ПГФ) и холоднотвердеющие смеси (ХТС); выход готового продукта – 70%; объем выбросов пыли – 1–2 млн. т/год; *б* – объем выбросов, т/тыс. т литья при ЛГМ; выход готового продукта – 85%; объем выбросов пыли – 0,6–1,2 млн. т/год, сокращение выбросов – 0,4 млн. т/год

Таким образом, на основании проведенных исследований установлено, что наибольшее количество вредных выбросов образуется при заливке формы и охлаждении в ней отливок, а также при их удалении из формы.

Исследования условий накопления конденсированных продуктов термодеструкции ГМ на зернах формовочного материала показали, что при многократном его использовании содержание вредных веществ составляет 0,3–0,5% от массы формовочного материала.

На основании проведенных исследований и разработки исходных данных ФТИМС НАН Украины и Институтом газа НАН Украины была разработана гамма установок термокаталитического дожигания вредных газов производительностью 3–24 м³/мин и регенерации песка производительностью 0,25–10 т/ч.

В основе технологии обезвреживания продуктов термодеструкции пенополистирола лежит предварительный нагрев воздушно-газовой среды, которая поступает из формы (от вакуумного – водокольцевого насоса), от рабочих мест заливки форм, зоны охлаждения отливок и их удаления (вентиляционная система) до температуры 450–500 °С. При этих условиях нагрева все продукты термодеструкции модели образуют только газовую смесь, которая вступает в контакт с катализатором. В результате контакта газовой смеси все продукты окисляются до уровня 98% и в виде паров воды и двуоксида углерода выбрасываются в атмосферу.

Для реализации этой технологической схемы создана установка дожигания отходящих газов УДК400. Суть работы этой установки заключается в следующем. Воздушно-газовая смесь, содержащая продукты термодеструкции полистирола, поступает в теплообменник установки, где предварительно нагревается до температуры 250–300 °С, а затем по воздуховоду поступает в нижнюю часть печи сопротивления с теплообменником и там уже газовая смесь нагревается до 450–500 °С. Разогретая газовая смесь поступает в кассету с гранулированным или сетчатым катализатором, где окисляется с образованием паров воды и двуоксида углерода, а затем через вентиляционную систему эти нейтрализованные газы удаляются в окружающую среду.

Через десять циклов использованный огнеупорный наполнитель проходит обезвреживание от сконденсировавшихся в нем продуктов деструкции пенополистироловых моделей на установке термокаталитического обезвреживания по маршруту: выбивное устройство, приемный бункер, магнитный сепаратор, сито барабанное, холодильник, блок бункеров, питатель, установка термокаталитического обезвреживания, блок бункеров, бункер расходный блока снаряжения контейнеров. В остальные циклы формовочный песок проходит те же операции, минуя установку термокаталитического обезвреживания.

При использовании метода ЛГМ уменьшение объема выбросов вредных веществ в атмосферу может составлять до 40% (рис. 1, *б*) при сохранении объема выпущенного литья.

Если на основе современных технологий и научных решений не снижается в 1,5 раза расход материальных и энергетических ресурсов, то нельзя говорить об эффективности литейного производства и удовлетворении потребности в литье большинства промышленных отраслей.

Для повышения экономической эффективности литейного производства нужно снижать массу отливок и ужесточать требования ГОСТ 26645-85, ГОСТ Р 53464–2009, указывая в них более высокие требования к точности литья.

В настоящее время 70% от массы автомобиля составляют литые детали. Поэтому для уменьшения массы литья без снижения эксплуатационных свойств и прочностных характеристик необходимо усовершенствовать литейные материалы и технологии так, чтобы уменьшить массу и толщину стенок отливок.

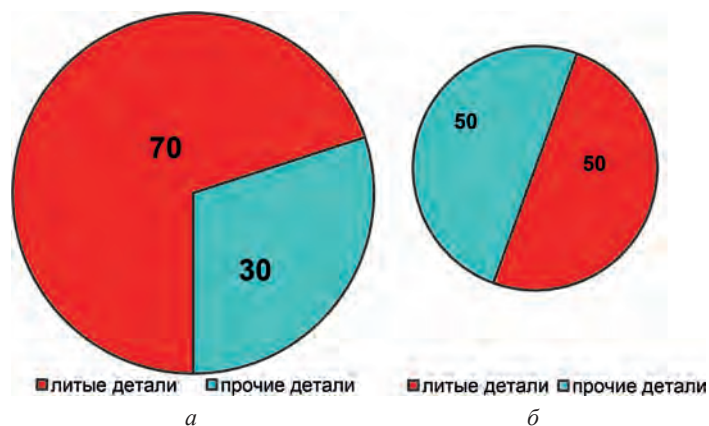


Рис. 2. Металлоемкость продукции машиностроения, %: а – в настоящее время; б – по прогнозу при использовании новых технологий и повышении точности литья, его масса должна уменьшиться в 2 раза

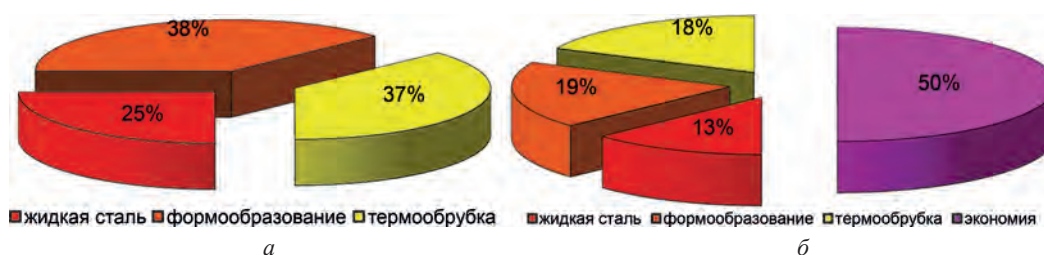


Рис. 3. Сравнительная себестоимость получения отливок из стали 35Л: а – цеховая себестоимость получения отливки массой 6,5 кг при литье в песчаные формы; б – цеховая себестоимость получения отливки массой 4,5 кг при литье с использованием комплексных технологий по газифицируемым моделям

На рис. 2, а 70% – это масса литых деталей или металлоемкость каждой машины сегодня. Если за счет использования новых технологий мы ее снизим до 50% (рис. 2, б), то уменьшим массу готовых изделий на 40%. Отсюда будет следовать экономическая эффективность – уменьшение затрат на производство тонны литья на 30% за счет снижения себестоимости и сохранения цены на продукцию. Кроме того, объем вредных выбросов будет сокращен пропорционально уменьшению общей металлоемкости. Цена литья станет инвестиционно привлекательной. Ни одна другая технология не позволяет снижать себестоимость на 30%, а это соответствует решению экономической задачи:

- экономии основных и вспомогательных материалов на 40–90%;
- снижению вредных выбросов в окружающую среду в 8–10 раз;
- уменьшению энергозатрат (расхода электроэнергии и газа) на 40%.

Такие перспективы заманчивы для литейщиков и делают производство рентабельным. Снижение цены конечной продукции за счет использования новых технологий способствует привлечению инвестиций в литейную отрасль.

К примеру, заметное количество литейных заводов выпускает литые подкладки, стоимость которых была выше стоимости сварных подкладок. Методом ЛГМ их можно отливать из стали и высокопрочного чугуна массой не 6,3 кг, а 4,5 кг. Если заменить технологию литья в песчаные формы, ХТС и другие, ныне применяющиеся, на литье по газифицируемым моделям, то экономия литья и снижение себестоимости продукции составят 50% за счет повышения точности литья (рис. 3).

Если рассмотреть себестоимость чугунного литья разными способами (рис. 4), можно получить экономию затрат до 44% за счет снижения металлоемкости.

Особенно значительная экономия получается при литье сложных отливок из износостойких сталей (шнеки для машин производства кирпича, била, молотки и детали дробилок), так как резко снижаются затраты на их механообработку. Методом ЛГМ возможно изготавливать без ограничений по конфигурации конструкции колеса, звездочки, корпуса, сантехнику, головки и блоки цилиндров бензиновых и дизельных двигателей, художественное литье и др. Капитальные затраты на организацию производства сокращаются в 2,0–2,5 раза, так же как и сроки ввода его в эксплуатацию. Легко разместить такие участки при кузнях, термических, ремонтных и других цехах.

Всего три компонента эффективности должны определять будущее литейной индустрии как инвестиционного продукта: новые литые материалы и композиты; новые ресурсосберегающие технологии



Рис. 4. Сравнение себестоимости 1 т литья из серого чугуна, изготовленного по различным технологиям: а – в настоящее время; б – по прогнозу при использовании новых технологий и повышении точности литья, его масса должна уменьшиться в 2 раза

формообразования для получения высокоточных отливок; использование современного оборудования и технологий для выплавки и внепечной обработки металлов и сплавов.

Производственный потенциал технологии ЛГМ далеко не исчерпан и настолько значителен, что она позволяет лить не только металлы и сплавы, но и получать композиты и армированные конструкции, которые обладают повышенными в несколько раз служебными свойствами. При этом в модель предварительно вставляют различные детали или материалы, которые формируют композит или армированную конструкцию, а наложение избыточного давления на жидкий металл увеличивает надежность пропитки таких изделий со вставками на длину свыше 1 м.

ЛГМ относят к технологиям будущего, учитывая ее экологичность и высокую степень оборотного использования материалов.

Литература

1. Шуляк В. С. Литье по газифицируемым моделям. СПб.: НПО «Профессионал», 2007. 408 с.
2. Рыбаков С. А. Инновационные возможности литья по газифицируемым моделям, состояние и перспективы этого метода в России // Литейщик России. 2009. № 4. С. 44–45.
3. Дорошенко В. С., Кравченко В. П. Взаимосвязанные процессы переноса в песчаной форме при литье по одноразовым моделям // Металл и литье Украины. 2009. № 9. С. 15–18.
4. Shinsky I., Shalevska I., Musbah Ja. Efficiency of influence of a metal macroreinforcing phase on process of solidification of large-sized castings. TEKA. Edition of Lublin University of technology. Vol. XD, Lublin. 2015. (English).
5. Шалевская И. А., Богдан А. В., Шинский В. О. Экологический мониторинг образования вредных выбросов в цехе литья по газифицируемым моделям // Металл и литье Украины. 2015. № 2. С. 21–25.
6. Шинский О. И., Шалевская И. А. Образование и нейтрализация вредных выбросов при производстве литья с использованием моделей из пенополистирола // Металл и литье Украины. 2016. № 1. С. 21–25.

References

1. Shulyak V. S. *Lit'jo po gazificiruemyim modeljam* [Lost Foam Casting]. St. Petersburg, NPO «Professional» Publ., 2007, 408 p.
2. Rybakov S. A. Innovacionnye vozmozhnosti lit'ja po gazificiruemyim modeljam, sostojanie i perspektivy jetogo metoda v Rossii [Innovative possibilities of lost foam casting, condition and prospects of this method in Russia]. *Litejshhik Rossii = Russian Foundryman*, 2009, no. 4, pp. 44–45.
3. Doroshenko V. S., Kravchenko V. P. Vzaimosvjazannye processy perenosu v peschanoj forme pri lit'e po odnorazovym modeljam [Interconnected transfer processes in sand mold during casting by disposable patterns]. *Metall i lit'e Ukrainy = Metal and Casting of Ukraine*, 2009, no. 9, pp. 15–18.
4. Shinsky I., Shalevska I., Musbah Ja. Efficiency of influence of a metal macroreinforcing phase on process of solidification of large-sized castings. TEKA. Edition of Lublin University of technology, Vol. XD, Lublin, 2015 (in English).
5. Shalevska I. A., Bogdan A. V., Shinskiy V. O. Jekologicheskij monitoring obrazovanija vrednyh vybrosov v chehe lit'ja po gazificiruemyim modeljam [Ecological monitoring of formation of harmful emissions in shop of lost foam casting]. *Metall i lit'e Ukrainy = Metal and Casting of Ukraine*, 2015, no. 2, pp. 21–25.
6. Shinskiy O. I., Shalevska I. A. Obrazovanie i nejtralizacija vrednyh vybrosov pri proizvodstve lit'ja s ispol'zovaniem modelej iz penopolistirola [Formation and neutralization of harmful emissions in the casting manufacture using models of expanded polystyrene]. *Metall i lit'e Ukrainy = Metal and Casting of Ukraine*, 2016, no. 1, pp. 21–25.



УДК 621.74.041

Поступила 13.10.2017

РЕГУЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ЛИТЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИНТЕНСИФИКАЦИЕЙ ТЕПЛООБМЕНА В ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЕ С ГАЗИФИЦИРУЕМОЙ МОДЕЛЬЮ

REGULATING OF CAST CONSTRUCTIONS PROPERTIES BY INTENSIFYING HEAT EXCHANGE IN MOLD WITH GASIFIED PATTERN

О. И. ШИНСКИЙ, Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев, Украина, пр. Вернадского, 34/1. E-mail: aluprt@mail.ru,

Е. И. МАРУКОВИЧ, Институт технологии металлов НАН Беларуси, г. Могилев, Беларусь, ул. Б.-Бирули, 11. E-mail: maruko46@mail.ru,

В. С. ДОРОШЕНКО, П. Б. КАЛЮЖНЫЙ, Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев, Украина, пр. Вернадского, 34/1. E-mail: doro55@gmail.com

O. I. SHINSKY, Physico-technological Institute of metals and alloys of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, 34/1, Vernadskogo ave. E-mail: aluprt@mail.ru,

E. I. MARUKOVICH, Institute of technology of metals of NAS Belarus, Mogilev, Belarus, 11, B.-Birulya str, e-mail: maruko46@mail.ru,

V. S. DOROSHENKO, P. B. KALUZNY, Physico-technological Institute of metals and alloys of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, 34/1, Vernadskogo ave. E-mail: doro55@gmail.com

В работе рассмотрены способы, позволяющие интенсифицировать теплообмен отливки в форме с сыпучим наполнителем. Эти методы включают подачу хладагента в форму, динамическое и аэродинамическое перемещение огнеупорного наполнителя вокруг отливки. Показаны примеры применения данных способов для локального повышения свойств чугуновой отливки корпуса блока цилиндров. Применение аэродинамического перемещения формовочного материала для отливок из алюминиевых сплавов позволило повысить их механические свойства в 1,3–1,6 раз.

The paper discusses ways to intensify the heat exchange of the casting in the mold of particulate filler. These methods include the supply of refrigerant to the mold, the dynamic and aerodynamic movement of the refractory filler around the casting. The examples of application of these methods to increase the local properties of cast iron cylinder block body are shown. Application of aerodynamic movement of molding material for aluminum castings has allowed to increase their mechanical properties in 1,3–1,6 times.

Ключевые слова. *Литье по газифицируемым моделям, теплообмен, хладагент, скорость охлаждения, формовочный наполнитель, аэродинамическое перемещение, контейнер.*

Keywords. *Lost foam casting, heat exchange, refrigerant, cooling rate, molding filler, aerodynamic movement, container.*

Теория литейных процессов традиционно рассматривает литейную песчаную форму в теплофизическом плане как однородное тело, и изменение скорости охлаждения получаемой в этой форме отливки в большинстве применяемых техпроцессов возможно только путем замены материала формы. Появление в литейных цехах вакуумируемых форм из песка без связующего, в которых, образно говоря, «химия связующего» уступила место «физике» уплотняющего песок перепада газового давления на границе «литейная полость–песок» позволило применить форму как удобный инструмент управления теплообменом между отливкой и формой [1].

В песчаных формах теплообмен отливки с формовочным материалом определяется процессом распространения тепла в форме, поскольку отливка может отдать тепла больше, чем может принять форма. Это говорит о том, что песчаная литейная форма имеет потенциал повышения теплоотвода. Поэтому актуальным является разработка способов интенсификации процессов затвердевания и охлаждения отли-

вок в песчаных формах за счет использования «активной формы», что в свою очередь позволит управлять формированием свойств в отливке.

Именно способ литья по газифицируемым моделям (ЛГМ) – наиболее подходящий для этих целей, поскольку сухой песок, упрочняемый перепадом давления, легко превратить в «сцементированный» или сыпучий путем включения-выключения вакуума, а пониженным газовым давлением в порах песка можно создать фильтрационный поток газа или жидкости сквозь эти поры. Сыпучие вещества позволяют создать перенос теплоты конвекцией путем перемещения их объемов, но анализ литературы не позволил обнаружить теоретических описаний влияния движущихся (фильтрующихся под действием поля давления) в порах песка потоков газа или жидкости либо самого песка (как теплоносителей) на скорость охлаждения и структурообразование металла отливки, находящейся в литейной форме.

Проведенные исследования. В экспериментальной части работы исследовали закономерности теплообмена на границе «металл – форма» при изменении таких характеристик формовочной смеси, как теплопроводность дисперсных наполнителей, их пористость, влажность, создание потоков теплоносителя и др. Исследовали формы с вакуумируемым дисперсным наполнителем (обычно используемые при ЛГМ) в сравнении с традиционными формами. В частности, с целью интенсификации теплообмена сыпучесть наполнителя использовали для принудительного движения песчинок вокруг охлаждаемой отливки, а внутриформенное разрежение – как силовой фактор для принудительного пропускания хладагента (воздуха, воды) через поровое пространство песка вокруг отливки.

Методика экспериментов основывалась на термическом анализе (с хромель-алюмелевыми термопарами и прибором для записи температуры) затвердевания и охлаждения отливки в контейнерной вакуумируемой песчаной форме. Цилиндрическую чугунную отливку диаметром 50 мм, массой 4 кг при массе песка в форме 24 кг получали методом ЛГМ, при этом на отливку в форме оказывали различные воздействия для регулирования отвода от нее тепла. В таком же контейнере провели сравнительные эксперименты для сырой песчано-глинистой формы, формы с охлажденным песком до низких температур, а также с наполнителем в виде металлической дробин. Термический анализ охлаждения цилиндрической отливки выполняли при заливке в форму расплавленного чугуна СЧ20 при температуре в ковше 1310 ± 10 °С, также для снижения трудоемкости ряд экспериментов проводили в лаборатории с нагретым до 610 ± 10 °С стальным образцом, заформованным в различного вида огнеупорный наполнитель.

Контейнер сконструирован так, что имел на двух противоположных боковых стенках по три отверстия, закрытые мелкой сеткой, и приваренные в этих местах патрубки. Такая конструкция контейнера позволяла вакуумировать форму через три патрубка на одной стенке (подключенные к вакуумному водокольцевому насосу ВВН1-1,5) и подавать воздух внутрь контейнера через три патрубка на другой стенке. В ряде экспериментов продувание песка выполняли через разное количество патрубков за счет вакуумирования с остаточным давлением воздуха в песчаной форме на уровне 50 кПа.

Всего было проведено 90 опытов термического анализа путем измерения термопарами через каждые 5 с и записи температуры стального образца или чугунной отливки. Продолжительность каждой операции термического анализа составляла до 2 ч, однако для сравнения скорости охлаждения образцов брали первые 40 мин, поскольку дальнейший процесс охлаждения протекает при температурах, которые рекомендуются для выбивки форм, и оказывает слабое влияние на свойства отливок. Усредненные результаты экспериментов приведены в табл. 1, 2 по степени увеличения скорости охлаждения.

Таблица 1. Скорости охлаждения металлического образца от температуры 610 ± 10 °С

№ п/п	Режим охлаждения стального образца	Скорость, °С/с
1	В кварцевом песке без уплотнения и продувания	0,068
2	В кварцевом песке, уплотненном вибрацией	0,075
3	В кварцевом песке, продувание через 1 штуцер	0,086
4	В оборотном кварцевом песке без продувания	0,091
5	В кварцевом песке без уплотнения, продувание через 1 штуцер	0,092
6	В кварцевом песке, продувание через 2 штуцера	0,095
7	В стальной дробин без воздействия	0,107
8	В кварцевом песке, продувание через 3 штуцера	0,108
9	В оборотном песке, продувание через 3 штуцера	0,110
10	Добавка в кварцевый песок 100 г воды, продувание через 3 штуцера	0,113
11	В кварцевом песке, охлажденном в морозильной камере (-12 °С)	0,117

№ п/п	Режим охлаждения стального образца	Скорость, °C/с
12	Добавка в кварцевый песок 200 г воды, продувание через 3 штуцера	0,119
13	В стальной дробь, охлажденной в морозильной камере (–38 °C)	0,121
14	В стальной дробь, продувание через 3 штуцера	0,125
15	Охлаждение на воздухе в пустом контейнере с крышкой	0,125
16	Добавка в песок 400 г воды (1,7%), продувание через 3 штуцера	0,129
17	В увлажненном оборотном песке (5%), продувание через 3 штуцера	0,130
18	Охлаждение на воздухе в пустом контейнере без крышки	0,138

Таблица 2. Скорости охлаждения чугунной отливки от температуры 1310 ±10 °C

№ п/п	Режим охлаждения чугунной отливки	Скорость, °C/с
1	В кварцевом песке	0,198
2	В оборотном кварцевом песке	0,209
3	Добавка в кварцевый песок 200 г воды	0,217
4	В сырой песчано-глинистой смеси	0,251
5	В кварцевом песке с высыпанием через отверстие в опоке	0,315

Дифференцирование теплофизических свойств формы возможно за счет изготовления ее из наполнителя с различной степенью уплотнения. В табл. 1 п. 1 и 5 соответствуют формовке песка без уплотнения. Остальные пункты показывают скорость охлаждения в предварительно уплотненном песке формы при вибрации с частотой 50 Гц с амплитудой 0,7 мм. Песок без уплотнения имеет наименьшую теплопроводность (табл. 1, п. 1), однако его продувание сильнее ускоряет охлаждение отливки, чем продувание уплотненного песка (табл. 1, п. 3, 5). Это обусловлено снижением пористости песка, которая увеличивает сопротивление фильтрации воздуха. Однако в производстве песчаные формы без виброуплотнения не применяют из-за опасности появления брака отливок в зонах слабого уплотнения песка.

По скорости охлаждения металлических образцов в среде различных формовочных наполнителей (табл. 1) можно выделить три группы режимов охлаждения. Наиболее медленное охлаждение в первой группе (п. 1–6), с большей скоростью – во второй группе (п. 7–12) и с еще большей – в третьей группе (п. 13–18). Ускорение отвода тепла достигали интенсификацией продувания песка формы воздухом, подачей воды в песок над образцом (с использованием фазового перехода теплоносителя), применением оборотного песка с сажистыми остатками продуктов газификации моделей при ЛГМ, заменой кварцевого песка на стальную дробь, предварительным охлаждением наполнителя в морозильной камере. П. 15 и 18 (табл. 1) соответствуют охлаждению образца, установленного на шамотный кирпич, в пустом контейнере с крышкой и без крышки только под влиянием окружающего воздуха.

По данным табл. 1, увеличение скорости охлаждения произошло более чем в 2 раза, по данным табл. 2 – почти в 1,6 раза. Эксперименты охлаждения в кварцевом песке с высыпанием через отверстие в контейнере (табл. 2, п. 5) выполнены с целью дальнейшего применения для контейнеров с донной разгрузкой [2]. В нижней части таких контейнеров установлен затвор для их опустошения без опрокидывания. В экспериментах после заливки формы и затвердевания отливки через отверстие диаметром 15 мм (ранее закрытое пробкой) в низу контейнера песок из формы высыпали в нижестоящий короб, как в песочных часах. Медленное опускание отливки на дно контейнера в среде обтекающего ее песка с дальнейшим охлаждением на воздухе сочетает операции охлаждения отливки в форме и выбивки самопроизвольным удалением песка через дозирующее отверстие в контейнере [3].

Также было определено влияние динамического перемещения сухого несвязанного песка вокруг отливки на скорость ее охлаждения. Для этого использовали специальный вибростол (с переменной амплитудой и частотой), на котором размещали контейнер с нагретым образцом, и проводили измерение температур образца и песка формы. Результаты экспериментов показали, что скорость охлаждения образца при виброперемещении наполнителя формы составляет 0,1–0,12 °C/с, что идентично продувке воздухом. Интенсификация теплообмена между отливкой и формой в таком варианте происходит за счет того, что вибрация формы способствует перемещению нагретого наполнителя из контактной зоны с отливкой, что, в свою очередь, ускоряет ее охлаждение.

Дозированная подача хладагента в песчаную форму переносными устройствами. Поскольку продувание песка формы требует длительной работы вакуумного насоса, были исследованы другие спо-

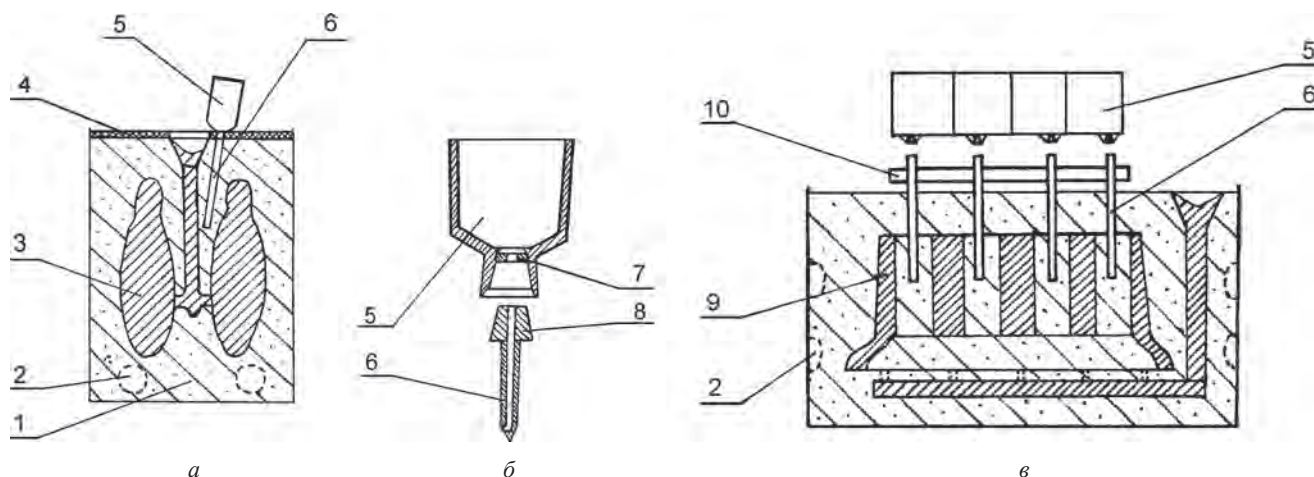


Рис. 1. Вакуумируемые формы с дозаторами воды: контейнерная форма с дозатором воды (а); разборная емкость-дозатор (б); форма с отливкой типа блока цилиндров (в): 1 – песок; 2 – фильтры; 3 – отливка; 4 – пленка; 5 – емкость-дозатор; 6 – трубчатый штырь; 7 – дозирующая шайба; 8 – конусная пробка; 9 – отливка блока цилиндров; 10 – планка

собы регулирования теплообмена отливки с формой при ЛГМ. Разработали переносные емкости-дозаторы с отъемными трубками для подачи хладагента в форму [4]. При формовке в песок помещают металлическую трубку так, что отливка в форме находится на пути движения хладагента от нижнего конца трубки до средства вакуумирования песка, закрепленного на внутренней стенке контейнера. На рис. 1, а показана форма, содержащая песок 1, вакуумируемый через фильтры 2, и отливку 3, полученную ЛГМ-процессом. Верх формы покрыт пленкой 4, а остальные стенки загерметизированы контейнером (не показан). Емкость-дозатор 5 имеет отъемный трубчатый штырь 6 (рис. 1, б), дозирующую шайбу 7 и конусную пробку 8. Для отливки блока цилиндров 9 (рис. 1, в) трубчатые штыри 6 закреплены на планке 10 и вставлены в отверстия цилиндров.

После заливки формы в начале затвердевания отливки в емкость 5 заливают отмеренное количество воды, которая через трубчатый штырь 6 затекает в песок при вакуумировании через фильтры 2 с герметизацией песка пленкой 4. Точку подачи хладагента располагают между отливками на пути просачивания его к фильтрам и охлаждают не одну, а весь «куст» отливок. Установка трубчатых штырей в локальных зонах формы вблизи отдельных частей или поверхностей отливок приводит к тому, что увлажняют контактирующие избирательными поверхностями отливки объемы песка, а другие зоны отливки остывают в обычном режиме. Такого рода форма служит для получения отливки с регулируемыми дифференцированными свойствами.

Для отливки блока цилиндров двигателя внутреннего сгорания и других отливок с трущимися поверхностями (поршней о цилиндры) избирательным охлаждением внутренней поверхности цилиндра можно повысить твердость этой поверхности до 250–280 НВ, а на остальных частях отливки получить твердость ниже, оптимальную для механической обработки на обрабатывающих центрах без лишнего износа режущего инструмента.

В результате исследований был установлен механизм процессов, происходящих при фильтрации воды в порах песка под действием вакуума. В увлажненном песке при росте относительной влажности W от 0,5 до 8,5% газопроницаемость в целом снижается в несколько раз (~ 140 до ~ 35 ед.). Движение воды и пара (от контакта воды с нагретым отливкой песком) проходит в песчаной среде по пути наименьшего сопротивления (наибольшей газопроницаемости и «наибольшего вакуума»). Влага, обходя влажные объемы песка, устремляется к более сухим и распределяется от трубки во все стороны, но больше в сторону вакуумного фильтра. Установка точки подачи воды так, чтобы на ее пути была отливка, обеспечивает охлаждение последней с интенсивностью, которая регулируется количеством и скоростью протекания воды и пара в песке близ отливки. Подача воды дозатором совмещается с вакуумной сушкой формы. Вода взаимодействует с песком в два этапа: при контакте с горячим песком она испаряется, пар конденсируется в холодных зонах песка вокруг отливки, затем по мере прогрева этих зон влага распространяется с характерным движением переувлажненной зоны песка и последующим высыханием под воздействием вакуума, что ускоряет охлаждение отливки и песка.

Кроме предварительной установки при засыпке песка, заостренные трубки диаметром 5–8 мм также вводили в песок, пробивая герметизирующую синтетическую пленку на контрладе формы и приставляя

после заливки металла к ним воронки для воды. Вода в количестве до 0,1–1 л засасывалась вакуумом в течение 10–100 с, что определялось требованиями к режиму охлаждения.

Согласно исследованиям влияния добавок воды к кварцевому песку на теплопроводность λ песка в смесях с водой, значение λ растет с увеличением относительной влажности W , однако при $W > 8\%$ наблюдается снижение λ у смеси объемного веса 1470 кг/м^3 [5]. Эти данные взяли за основу для ускоренного охлаждения со стороны отдельных поверхностей отливки для повышения их твердости при том, что вся отливка охлаждается по традиционному режиму [6]. Для отливки корпуса блока цилиндров как одной из наиболее сложных литых деталей поршневых двигателей, от качества которой зависит их ресурс эксплуатации, поверхностный слой внутри цилиндров (гильз, цельнолитых в блоке) желательно получить с твердостью выше, чем в целом для всей отливки. Однако подача в песок внутрь цилиндра корпуса излишнего количества влаги как хладагента обычно приводит к накоплению ее в нежелательных местах формы и может в той зоне повысить твердость отливки, что увеличит затраты на механообработку, а также может переувлажнить отдельные зоны песка и затруднить его высыпку.

Если после подачи воды вакуумирование прекращают или закрывают отверстия, через которые она подавалась в форму, то влага из полости цилиндра не уносится потоком воздуха, засасываемого через эти отверстия разрежением формы, а накапливается и затем мигрирует при нагреве песка, как в сырой песчано-глинистой форме. Подача воды в объемы песка до нагрева их выше температуры кипения воды обеспечивает спокойное ее впитывание без образования пара, который быстро распространится в глубь формы. Поэтому удобно подавать воду в песок сразу после заливки металлом, а скорость впитывания регулировать величиной разрежения или диаметром отверстий трубчатых штырей. В ускоренно охлаждаемых местах в структуре чугуна увеличивается количество связанного углерода и перлита, что повышает твердость металла по сравнению с чугуном, контактирующим с сухим песком.

Охлаждение отливки при освобождении части ее поверхности от песка в литейной форме. Если вода является весьма активным охладителем, влияние которого при малых скоростях охлаждения отливок трудно регулировать, то с помощью газа можно достичь «тонкого» регулирования при слабом стимулировании охлаждения. Создание на отливке поверхностных зон с различными свойствами предусмотрено способом, в котором хладагент подают на поверхность отливки, освобожденной от песка [7]. В вариантах способа в качестве хладагента используют свободно движущийся воздух или поток воздуха, например, создаваемый вакуумированием формы с частичной ее разгерметизацией. В потоке воздуха могут диспергировать воду или использовать поток охлажденного газа, а освобождение от песка производят путем его отсоса с применением вакуума по принципу, подобному работе бытового пылесоса, который легко удаляет сухой песок формы. Для регулирования охлаждения освобожденные от горячего песка части отливок предложено покрывать песком или другим материалом со свойствами, отличными от удаленного песка, а для чугунных отливок, в частности, удалять песок до достижения металла температуры эвтектидного превращения.

Применение этого способа опять же показано на примере отливок блоков цилиндров при освобождении от песка внутренней поверхности каждого цилиндра. Условно изображены части песчаной формы с песком 1 (рис. 2) в разрезе по оси одного из цилиндров (гильз) 2 отливки, затвердевшей в форме, где происходит ее охлаждение. Форма выполнена в контейнере (не показан) и изображена на стадии, когда часть верхнего слоя песка удалена с контрлада 3, из полости цилиндра 2, а часть песка находится под углом естественного откоса 4 (рис. 2, а). В другом варианте (рис. 2, б) на отливку могут ставить патру-

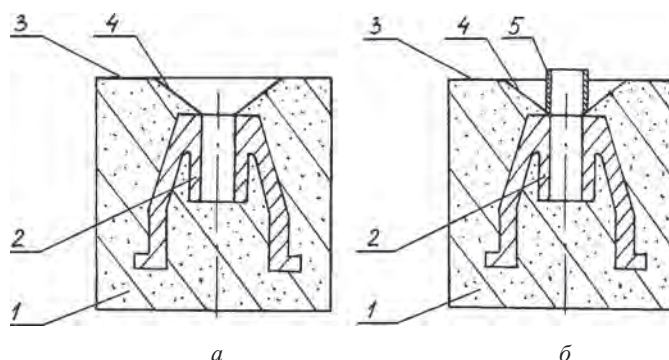


Рис. 2. Литейная форма: в разрезе по оси цилиндра отливки (а); то же с патрубком, установленном на отливке (б): 1 – песок; 2 – цилиндр (гильза) отливки блока цилиндров; 3 – контрлад; 4 – естественный откос песка; 5 – патрубок

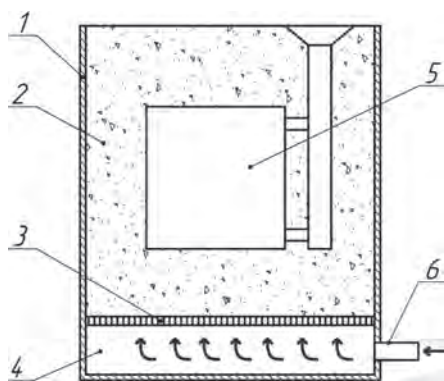


Рис. 3. Схема охлаждения отливки в контейнере: 1 – контейнер; 2 – песок; 3 – перфорированное дно; 4 – полость; 5 – отливка; 6 – штуцер

бок 5, верхнее отверстие которого могут частично закрывать съемной крышкой, регулируя конвективное движение воздуха.

Применение аэродинамического перемещения огнеупорного наполнителя для повышения свойств отливок. Особенность ЛГМ, заключающаяся в использовании сухого песка без связующего, позволяет существенно изменить механизм теплообмена в форме за счет создания интенсивного перемешивания частиц формовочного материала (ФМ) путем соответствующей организации аэродинамики. Так, если насыпной слой формовочного материала продувать вертикальным потоком воздуха, то при определенной скорости потока аэродинамическая сила, действующая на частицу ФМ, станет равна ее массе, а насыпной слой ФМ перейдет в псевдоожиженное состояние. Поскольку насыпной слой ФМ является, по сути, теплоизолятором, а псевдоожиженный слой ФМ имеет высокую теплопроводность, способную превысить теплопроводность металлов [8], то эти преимущества были использованы при разра-

ботке нового способа управления теплообменом в литейной форме.

Реализация предлагаемого способа для ЛГМ возможна следующим образом [9]. В контейнере 1 (рис. 3) формируют газифицируемую модель, засыпав сухой песок 2 на пористое (перфорированное) дно 3, и вакуумируют форму через полость 4. После заливки расплава в форму от штуцера 6 контейнера отключают вакуум. Вместо вакуума к штуцеру 6 подключают сжатый воздух, и, регулируя расход воздуха, создают псевдоожиженный слой песка в контейнере. Охлаждение отливки 5 таким образом ведут до необходимой температуры отливки или по заданному режиму.

Нами были проведены сравнительные эксперименты по охлаждению алюминиевого цилиндрического образца, которые показали, что начальная скорость охлаждения отливки в неподвижном (уплотненном вибрацией) песке составляет 0,06–0,12 °C/с, в то время как в псевдоожиженном слое песка скорость охлаждения отливки – 1,7–2,9 °C/с, т. е. в 22–28 раз выше. Это говорит о том, что аэродинамическое перемещение ФМ в контейнере позволяет существенно интенсифицировать процесс теплообмена отливки с частицами ФМ.

Последующей задачей было определение влияния аэродинамического перемещения ФМ на формирование механических свойств отливок из алюминиевых сплавов, поскольку за счет увеличения скорости кристаллизации и охлаждения отливки можно значительно повысить свойства алюминиевых сплавов. Для этого на экспериментальной базе ФТИМС НАН Украины по технологии литья по газифицируемым моделям с аэродинамическим перемещением ФМ в контейнере были изготовлены партии отливок «Корпус тормозного крана», «Уголок» и «Крышка» из сплавов АК9, АК5М2 и АК7 ДСТУ 2839-94 соответственно. Данные отливки были изготовлены по базовой (традиционной) технологии ЛГМ, т. е. без применения каких-либо воздействий, а также по новой технологии ЛГМ с аэродинамическим перемещением ФМ. Последняя технологическая схема предполагала, что после заливки расплава в вакуумируемую форму его выдерживали определенное время, на протяжении которого успела образоваться поверхностная корка металла, а основной объем металла еще не кристаллизовался. В этот момент отключали от контейнера вакуум и включали подачу сжатого воздуха, создавая в контейнере псевдоожиженный слой песка. Аэродинамическое перемещение в контейнере поддерживали на протяжении 180 с, после чего отключали сжатый воздух и выдерживали отливку в контейнере еще на протяжении 10 мин. Затем песок высыпали из контейнера, и отливка охлаждалась на воздухе до комнатной температуры.

Определение механических свойств сплавов проводили на заготовках, которые были отлиты при тех же условиях, что и отливки. По стандартным методикам были определены временное сопротивление разрыву, относительное удлинение и твердость сплавов (без термической обработки) (табл. 3).

Таблица 3. Механические свойства сплавов

Марка сплава	Способ литья	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение, %	Твердость по Бринеллю НВ
АК9	З, К (ДСТУ 2839-94)	157	1,0	60
	ЛГМ (базовый)	146–152	0,8–0,85	64–69
	ЛГМ с аэродинамическим перемещением ФМ	198–223	1,1–1,2	80–82

Марка сплава	Способ литья	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение, %	Твердость по Бринеллю НВ
АК5М2	З (ДСТУ 2839-94)	118	—	65
	К (ДСТУ 2839-94)	157	0,5	65
	ЛГМ (базовый)	115–127	0,2	65–67
	ЛГМ с аэродинамическим перемещением ФМ	164–172	0,7–0,9	68–72
АК7	З (ДСТУ 2839-94)	127	0,5	60
	К (ДСТУ 2839-94)	157	1,0	60
	ЛГМ (базовый)	125–134	0,4–0,6	61–63
	ЛГМ с аэродинамическим перемещением ФМ	165–174	1,1–1,3	64–70

В результате механических испытаний было установлено, что предел прочности и пластичность алюминиевых сплавов АК9, АК5М2 и АК7 в отливках, которые во время их затвердевания и охлаждения в форме из кварцевого песка $2K_2O_{0.16}$ ГОСТ 2138-91 подвергали воздействию аэродинамического перемещения в контейнере, выше в 1,3–1,5 и 1,4–1,6 раза, соответственно в сравнении с отливками, полученными по базовой ЛГМ технологии. Также наблюдается незначительное увеличение твердости в отливках, полученных по технологической схеме с аэродинамическим перемещением ФМ в контейнере. Полученные механические свойства отливок из алюминиевых сплавов при использовании технологии ЛГМ с применением аэродинамического перемещения формовочного материала в литейном контейнере не уступают механическим свойствам алюминиевых отливок, регламентируемых ДСТУ 2839–94 для литья в кокиль.

На основе проведенных исследований были разработаны технологические схемы по применению аэродинамического перемещения ФМ в контейнере, которое может использоваться как для обеспечения необходимого уровня механических свойств, так и для повышения производительности производства. Основным отличием первой технологической схемы от обычного технологического процесса ЛГМ является стадия выдержки отливок в форме для образования поверхностной корки металла и создания аэродинамического перемещения ФМ при кристаллизации металла. Вторая технологическая схема предусматривает аэродинамическое перемещение ФМ в контейнере для интенсификации охлаждения затвердевших отливок и позволяет значительно сократить производственный цикл за счет уменьшения времени охлаждения отливки в форме, которое, по нашим экспериментальным данным, можно уменьшить в 10–12 раз.

Рассмотренные результаты исследований, а также способы формовки и охлаждения отливки в песчаной форме раскрывают обширные возможности вакуумируемых форм (рис. 4). Приведенные на рисунке способы использования газового избыточного давления описаны в [10], получения ячеисто-каркасных отливок – в [11], а охлаждения отливок в псевдоожиженном слое песка – в [12].

Способы ускоренного охлаждения отливки, рассмотренные в настоящей статье и отражающие наиболее технологичные решения на основе проведенных экспериментов, раскрывают потенциал вакуумируемых песчаных форм для регулирования теплообмена между отливкой и литейной формой. Интенсификация теплообмена при затвердевании и охлаждении отливок позволяет повысить их механические



Рис. 4. Технологические возможности вакуумируемой песчаной формы в герметичной опочной оснастке, содержащей сыпучую песчаную среду

свойства, что дает возможность уменьшить толщину стенки литой заготовки, что, в свою очередь, приведет к уменьшению массы детали и увеличению экономии.

Литература

1. Шинский О. И., Дорошенко В. С., Кравченко В. П. Интенсификация теплообмена отливки с дисперсным наполнителем литейной формы при применении хладагента и вынужденной конвекции // Процессы литья. 2009. № 5. С. 74–82.
2. Дорошенко В. С., Бердыев К. Х. Современные тенденции конструирования опочной оснастки для ЛГМ // Металл и литье Украины. 2011. № 4. С. 24–29.
3. Дорошенко В. С. Регулирование охлаждения отливки в вакуумируемой форме фильтрацией хладагентов и движением частиц песка // Литейное производство. 2013. № 10. С. 32–37.
4. Пат. Украины 80928, МПК В22С 9/02. Литейная форма для вакуумной формовки / О. И. Шинский, В. С. Дорошенко и др. Оpubл. 2007. Бюл. № 18.
5. Носков Б. А., Яновер Я. Д. Исследование теплофизических характеристик формовочных материалов методами регулярного режима // Изв. вузов. 1971. № 11. С. 147–151.
6. Пат. Украины 85516, МПК В22С 9/02, В22Д 27/04. Способ изготовления отливки корпуса блока цилиндров / О. И. Шинский, В. С. Дорошенко и др. Оpubл. 2009, Бюл. № 2.
7. Пат. Украины 82963, МПК В22Д 27/04, В22Д 27/15. Способ изготовления отливки в песчаной форме с регулируемым охлаждением отдельных ее частей / О. И. Шинский, В. С. Дорошенко, С. И. Клименко. Оpubл. 2008. Бюл. № 6.
8. Заваров А. С., Баскаков А. П., Грачев С. В. Термическая обработка в кипящем слое. М.: Металлургия, 1981. 84 с.
9. Пат. Украины 97151, МПК В22Д 27/04. Способ охлаждения отливок в литейной форме / П. Б. Калюжный, А. Н. Голофаев, Ю. И. Гутько. Оpubл. 2015. Бюл. № 5.
10. Дорошенко В. С. Литье по газифицируемым моделям с кристаллизацией металла под давлением // Литейное производство. 2016. № 1. С. 25–28.
11. Дорошенко В. С. Способы получения каркасных и ячеистых литых материалов и деталей по газифицируемым моделям // Литейное производство. 2008. № 9. С. 28–32.
12. Дорошенко В. С., Клименко С. И., Калюжный П. Б. Интенсификация теплоотвода при охлаждении отливок в литейной форме с сыпучим наполнителем методом его псевдоожижения // Металл и литье Украины. 2016. № 6. С. 22–26.

References

1. Shinskiy O. I., Doroshenko V. S., Kravchenko V. P. Intensifikacija teploobmena otlivki s dispersnym napolnitelem litejnoj formy pri primenenii hladagenta i vynuuzhdennoj konvekcie [Intensification of the casting heat exchange with the disperse filler of the mold using refrigerant and forced convection]. *Processy lit'ja = Casting Processes*, 2009, no. 5, pp. 74–82.
2. Doroshenko V. S., Berdyev K. H. Sovremennye tendencii konstruirovaniya opochnoj osnastki dlja LGM [Modern trends in design of flask equipment for lost foam casting]. *Metall i lit'e Ukrainy = Metal and Casting of Ukraine*, 2011, no. 4, pp. 24–29.
3. Doroshenko V. S. Regulirovanie ohlazhdenija otlivki v vakuumiruemoj forme fil'traciej hladagentov i dvizheniem chastic peska [Regulation of casting cooling in the vacuumized form of a filtration refrigerants and movement of sand particles]. *Litejnoe proizvodstvo = Foudry*, 2013, no. 10, pp. 32–37.
4. Shinskiy O. I., Doroshenko V. S. and etc. *Litejnaja forma dlja vakuumnoj formovki* [The mold for vacuum forming]. Patent UA, no. 80928, 2007.
5. Noskov B. A., Janover Ja. D. Issledovanie teplofizicheskikh harakteristik formovochnykh materialov metodami reguljarnogo rezhima [Investigation of thermophysical characteristics of molding materials by regular-mode methods]. *Izvestija vuzov = Universities news*, 1971, no. 11, pp. 147–151.
6. Shinskiy O. I., Doroshenko V. S. and etc. *Sposob izgotovlenija otlivki korpusa bloka cilindrov* [The method for manufacturing the casting of the cylinder block body]. Patent UA, no. 85516, 2009.
7. Shinskiy O. I., Doroshenko V. S., Klimenko S. I. *Sposob izgotovlenija otlivki v peschanoj forme s reguliruемым ohlazhdeniem otdel'nyh ee chastej* [The method of manufacturing a casting in sand mold with controlled cooling of its individual parts]. Patent UA, no. 82963, 2008.
8. Zavarov A. S., Baskakov A. P., Grachev S. V. *Termicheskaja obrabotka v kipjashhem sloe* [Heat treatment in fluidized bed]. Moscow, Metallurgija Publ., 1981, 84 p.
9. Kalyuzhnyy P. B., Golofaev A. N., Gut'ko Ju. I. *Sposob ohlazhdenija otlivok v litejnoj forme* [Method of castings cooling in a mold]. Patent UA, no. 97151, 2015.
10. Doroshenko V. S. Lit'e po gazificiruемым modeljam s kristallizaciej metalla pod davleniem [Lost foam casting with metal crystallization under pressure]. *Litejnoe proizvodstvo = Foudry*, 2016, no. 1, pp. 25–28.
11. Doroshenko V. S. Sposoby poluchenija karkasnyh i jacheistyh lityh materialov i detalej po gazificiruемым modeljam [Methods for producing wireframe and cellular cast materials and parts for gasifying models]. *Litejnoe proizvodstvo = Foudry*, 2008, no. 9, pp. 28–32.
12. Doroshenko V. S., Klimenko S. I., Kalyuzhnyy P. B. Intensifikacija teplootvoda pri ohlazhdenii otlivok v litejnoj forme s sy-puchim napolnitelem metodom ego psevdoozhizhenija [The intensification of the heat removal with cooling castings in a mold with particulate filler by its fluidization]. *Metall i lit'e Ukrainy = Metal and Casting of Ukraine*, 2016, no. 6, pp. 22–26.



УДК 669.154

Поступила 05.10.2017

НАНОСТРУКТУРИЗАЦИЯ В ЛИТЕЙНЫХ ПРОЦЕССАХ NANOSTRUCTURIZATION IN FOUNDRY PROCESSES

Е. И. МАРУКОВИЧ, В. Ю. СТЕЦЕНКО, Институт технологии металлов НАН Беларуси, г. Могилев, Беларусь, ул. Бялыницкого-Бурули, 11. E-mail: info@itm.by

E. I. MARUKOVICH, V. Yu. STETSENKO, Institute of Technology of Metals of National Academy of Sciences of Belarus, Mogilev, Belarus, 11, Bialynitskogo-Biruli str. E-mail: info@itm.by

Показано, что при кристаллизации сплавов происходят сложные наноструктурные процессы. В этих процессах в основном участвуют нанокристаллы фаз, их атомы, центры кристаллизации дендритов, поверхностно-активные элементы, газы, модифицирующие элементы, слабо растворимые примесные элементы. Их активность и интенсивность отвода теплоты кристаллизации определяют структуру отливок.

It is shown that at crystallization of alloys the sophisticated nanostructural processes have place. The nanocrystals of phases, their atoms, the centers of crystallization of dendrites, surface-active elements, gases, modifying elements, poorly soluble impurity elements generally participate in these processes. Their activity and intensity of abstraction of heat during crystallization define the structure of castings.

Ключевые слова. Расплав, нанокристалл, центр кристаллизации, дендрит, поверхностно-активные элементы, газы, модифицирующие элементы, силумин, кристаллизация.

Keywords. Melting, nanocrystal, center of crystallization, dendrite, surface-active elements, gases, modifying elements, silumin, crystallization.

Рассмотрим структурные процессы, происходящие при плавлении, обработке расплава модификаторами и кристаллизации. Литейные процессы происходят в сложных термодинамических системах, которые характеризуются числом фаз (Φ), числом компонентов (K), числом степеней свободы (C). При изобарном равновесии справедливо правило фаз [1]:

$$\Phi = K + 1 - C. \quad (1)$$

При постоянном давлении расплав является одной фазой. Принято считать, что она не имеет равновесной структуры, что отображается на диаграммах состояния белым полем. Согласно современным представлениям о расплавах, они состоят из атомов, которые периодически, по законам статистики (случайно) образуют очень нестабильные образования (кластеры). Считается, что продолжительность жизни кластеров составляет 10^{-7} – 10^{-8} с, а размер – 2–5 нм [2]. Данные рентгеноструктурного анализа расплавов свидетельствует о том, что их структура мало отличается от кристаллической. По измерению плотности и других свойств расплавов было установлено до 3–4 перестроек структуры металлических жидкостей в интервале температура ликвидуса – 0, 9 температуры кипения [3]. Удельная теплота плавления металлов в среднем составляет 3% от их удельной теплоты атомизации [4]. Поэтому основным структурным элементом расплава является не атом, а нанокристалл. В отличие от кластера нанокристалл – равновесное структурное образование, поскольку расплав – равновесная термодинамическая система. Нанокристалл имеет удельную межфазную поверхностную энергию (σ). В термодинамической системе, состоящей в основном из нанокристаллов, давление не будет постоянным, так как определяется по уравнению Лапласа:

$$P_{\text{л}} = \frac{4\sigma}{d}, \quad (2)$$

где d – диаметр нанокристалла.

Уравнение (1) применимо только для макросистем, в которых лапласовским давлением можно пренебречь, поскольку у макрокристаллов величина d относительно велика. Для высокодисперсных систем, состоящих в основном из нанокристаллов, лапласовским давлением пренебречь нельзя. Поэтому правило фаз будет иметь вид:

$$\Phi = K + 2 - C. \quad (3)$$

Из уравнения (3) следует, что в расплаве, состоящем из нанокристаллов, кроме них, должна существовать еще одна фаза. Это бесструктурная зона, которая состоит в основном из атомов.

При плавлении атомизируется в среднем 3% ионов. При этом уменьшается концентрация свободных электронов. В результате макрокристаллы распадаются на нанокристаллы. Поэтому плавление можно представить как процесс распада макрокристаллов на нанокристаллы с частичной атомизацией ионов. Атомы ослабляют связь между нанокристаллами, снижают удельную межфазную поверхностную энергию между нанокристаллами и бесструктурной атомизированной зоной (атомным газом). Показано, что в жидких металлах удельная межфазная поверхностная энергия нанокристаллов в сотни раз меньше, чем аналогичная величина для макрокристаллов [5]. Поэтому лапласовское давление, действующее на нанокристаллы, относительно невелико, что делает их термодинамически устойчивыми в расплаве.

Макрокристаллы, как правило, являются дендритными образованиями (дендритами). Каждый дендрит состоит из центра кристаллизации (ЦК) и отростков (ветвей). ЦК имеет глобулярную форму и нанометровые размеры (десятки или сотни нанометров). Эффект металлургической наследственности свидетельствует о том, что после расплавления, до определенной температуры выше ликвидуса, ЦК не распадаются. Следовательно, ЦК состоят из скоагулированных, более мелких нанокристаллов. Установлено, что такой процесс может происходить без затрат энергии Гиббса, как и обратный процесс [6]. Присутствие поверхностей раздела в расплавах позволяет поверхностно-активным элементам (ПАЭ) влиять на процессы структурообразования, что подтверждается литейной практикой модифицирования. Адсорбция ПАЭ на ЦК в достаточных количествах приводит к распаду ЦК на нанокристаллы по эффекту Ребиндера. Процесс плавления можно представить следующей реакцией:



где $Q_{\text{п}}$ – теплота плавления.

Процесс распада ЦК посредством ПАЭ происходит по реакции:



Примером одного из наиболее активных ПАЭ является кислород. С повышением температуры расплава концентрация в нем растворенного кислорода увеличивается. Это, в свою очередь, приводит к повышению количества адсорбированного кислорода и последующему распаду ЦК на нанокристаллы. Растворенный кислород адсорбируется на этих нанокристаллах, препятствуя их коагуляции в ЦК. Поэтому при повышении температуры расплава количество в нем ЦК уменьшается. При снижении температуры расплава концентрация в нем кислорода уменьшается. Происходит его десорбция с поверхностей нанокристаллов, которые, сталкиваясь, начинают коагулировать в ЦК. Их количество будет определяться концентрацией ПАЭ в расплаве. Для ее существенного и быстрого снижения используют модифицирующие элементы (МЭ). Они связывают ПАЭ, чем существенно снижают их количество в адсорбированном состоянии. В результате интенсифицируется процесс коагуляции нанокристаллов в ЦК. Их концентрация значительно повышается, что приводит при затвердевании расплава к существенному увеличению числа макрокристаллов и измельчению структуры отливки. Примерами наиболее сильных МЭ служат активные раскислители, которые имеют высокое химическое сродство к кислороду. При добавлении МЭ к расплаву происходит следующая реакция:



При отводе от расплава теплоты кристаллизации $Q_{\text{к}}$ происходит конденсация атомарного газа (атомов) с последующей металлизацией (ионизацией). В результате усиливается связь между нанокристаллами, которые начинают сначала присоединяться к ЦК, а затем к этим нанокристаллам присоединяются другие по дендритному механизму. В результате образуется дендрит. Его морфология (разветвленность) зависит от множества факторов. Основными из них являются скорость отвода $Q_{\text{к}}$, выделяющиеся газы и слабо растворимые в твердых фазах примесные элементы (СПЭ). Одним из наиболее влиятельных газов служит водород. Процесс кристаллизации расплава можно представить реакцией:



СПЭ и газы снижают степень разветвленности дендритов фаз. Для повышения модифицированности структуры отливки, кроме использования МЭ, необходимо производить дегазацию расплава, подвергать затвердевающий расплав вибрации или ультразвуковой обработке. Из (7) также следует, чтобы увеличить количество ЦК и степень разветвленности дендритов фаз, необходимо повысить интенсивность отвода теплоты кристаллизации расплава. Повышенная скорость затвердевания – универсальный и самый эффективный фактор модифицирования структуры отливки. В Институте технологии металлов НАН Беларуси разработан способ литья закалочным затвердеванием. Линейная скорость затвердевания этого метода на порядок выше, чем при литье в металлический кристаллизатор. Способ литья закалочным затвердеванием позволяет получать отливки диаметром 50 мм из эвтектического силумина с дисперсностью кремния 0,2–0,3 мкм [6].

Исходя из того что расплавы состоят из нанокристаллов фаз и бесструктурных атомизированных зон, можно исследовать и понять процессы литья металлов и сплавов, например, доэвтектического силумина. Процессы его литья включают расплавление сплава, перегрев расплава, его охлаждение, модифицирование лигатурой, содержащей кристаллы интерметаллида TiAl_3 , кристаллизацию фаз. При плавлении доэвтектического силумина происходит распад первичных дендритов α -фазы (алюминия) $\text{Al}_{\text{II}}^{\text{D}}$ на их центры кристаллизации $\text{Al}_{\text{II}}^{\text{II}}$, нанокристаллы Al^{H} и атомы алюминия Al^{a} по следующей реакции:



При перегреве расплава и его взаимодействии с воздушной атмосферой происходит следующая реакция [6]:



В результате образуются нанокристаллы оксида алюминия $\text{Al}_2\text{O}_3^{\text{H}}$ и растворенный водород $[\text{H}]$. Последний диффундирует в бесструктурные зоны расплава, а затем адсорбируется на центрах кристаллизации алюминиевых дендритов. Нанокристаллы $\text{Al}_2\text{O}_3^{\text{H}}$ коагулируют в более крупные образования, на которых также адсорбируется растворенный водород. При достижении определенной его концентрации $\text{Al}_{\text{II}}^{\text{II}}$ распадаются по эффекту Ребиндера на m более мелких нанокристаллов по следующей реакции:



Известно, что с ростом перегрева силуминового расплава концентрация растворенного в нем водорода увеличивается. Между ним и адсорбированным водородом существует термодинамическое равновесие. Поэтому с возрастанием перегрева количество адсорбированного водорода будет увеличиваться, а концентрация $\text{Al}_{\text{II}}^{\text{II}}$ – уменьшаться. В результате структура отливки доэвтектического силумина становится крупнокристаллической.

При охлаждении расплава силумина концентрация растворенного водорода снижается. Соответственно уменьшается концентрация адсорбированного водорода, который препятствует коагуляции нанокристаллов алюминия в ЦК. В результате активизируется процесс образования $\text{Al}_{\text{II}}^{\text{II}}$ по следующей реакции:



При охлаждении расплава реакции дегазации и десорбции водорода протекают достаточно медленно. Наибольший эффект достигается при длительном выстаивании расплава силумина вблизи температуры ликвидуса. В реальных условиях литья охлаждение расплава происходит достаточно быстро. Поэтому существенно понизить концентрацию растворенного водорода до начала процесса затвердевания не удастся. Не решает проблему применение рафинирующих флюсов и газов. Для модифицирования первичной микроструктуры отливок из доэвтектического силумина в расплав в относительно небольших количествах добавляют лигатуру, содержащую кристаллы интерметаллида TiAl_3 . Его кристаллическая решетка и кристаллическая решетка алюминия не соответствуют принципу структурно-размерного соответствия Данкова-Конобеевского [6]. Поэтому кристаллы TiAl_3 не могут быть ЦК первичных дендритов алюминия. Действие интерметаллида сводится к активному поглощению растворенного водорода и заметному снижению его концентрации в расплаве [1]. Этот эффект усиливается в сочетании с рафинированием расплава флюсами и газами. В результате существенного снижения концентрации рас-

творенного водорода значительно усиливаются процессы коагуляции нанокристаллов алюминия в Al_{II}^H и их количество заметно возрастает. Известно, что кристаллы интерметаллида $TiAl_3$ имеют определенное время живучести. При его превышении они дезактивируются (насыщаются) водородом и эффективность процесса модифицирования снижается. При затвердевании расплава доэвтектического силумина, обработанного кристаллами интерметаллида $TiAl_3$, в течение времени их живучести первичная структура отливок становится модифицированной, мелкокристаллической. После рафинирующей и модифицирующей обработки расплава его первичная кристаллизация происходит по следующей реакции:



При добавлении в расплав доэвтектического силумина относительно большого количества модифицирующей лигатуры процесс снижения концентрации адсорбированного водорода значительно ускоряется. В результате существенно возрастает интенсивность коагуляции нанокристаллов алюминия. Это приводит к укрупнению Al_{II}^H и снижению их количества в расплаве. При его затвердевании структура отливок становится крупнокристаллической. Происходит так называемый процесс перемодифицирования.

Таким образом, при кристаллизации сплавов происходят сложные наноструктурные процессы, в которых участвуют нанокристаллы фаз, их атомы, ЦК, ПАЭ, газы, СПЭ и МЭ. Их активность и интенсивность отвода теплоты кристаллизации определяют структуру отливок.

Литература

1. Жуховицкий А. А., Шварцман Л. А. Физическая химия. М.: Металлургия, 1968. 520 с.
2. Ершов Г. С., Бычков Ю. Б. Высокопрочные алюминиевые сплавы на основе вторичного сырья. М.: Металлургия, 1979. 192 с.
3. Филиппов Е. С. Строение, физика и химия металлургических расплавов. М.: Металлургия, 1995. 304 с.
4. Стеценко В. Ю. Металлические расплавы – наноструктурные системы // Литье и металлургия. 2014. № 1. С. 48–49.
5. Стеценко В. Ю. Кластеры в жидких металлах – стабильные нанокристаллы // Литье и металлургия. 2015. № 2. С. 33–35.
6. Марукович Е. И., Стеценко В. Ю. Модифицирование сплавов. Минск: Беларуская навука, 2009. 192 с.

References

1. Zhuhovickij A. A., Shvarcman L. A. *Fizicheskaya himiya* [Physical chemistry]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1968. 520 p.
2. Ershov G. S., Bychkov Yu. B. *Vysokoprochnye alyuminievye splavy na osnove vtorichnogo syr'ya* [High-strength aluminum alloys on the basis of secondary raw materials]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1979. 192 p.
3. Filippov E. S. *Stroenie, fizika i himiya metallurgicheskikh rasplavov* [Structure, physics and chemistry of metallurgical fusions]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1995. 304 p.
4. Stetsenko V. Yu. Metallicheskie rasplavy – nanostrukturnye sistemy [Metal melts – nanostructured systems]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2014. no. 1, pp. 48–49.
5. Stetsenko V. Yu. Klasteri v zhidkih metallah – stabil'nye nanokristally [Clusters in liquid metals – stable nanocrystals]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2015. no. 2, pp. 33–35.
6. Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu. *Modificirovanie splavov* [Modifying of alloys]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2009. 192 p.



УДК 621.74.02

Поступила 13.10.2017

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ООО «РЛЗ»

APPLICATION EXPERIENCE OF COMPUTER SIMULATION SYSTEMS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF FOUNDRY PRODUCTION AT THE ROSTOV FOUNDRY

А. В. ФЕДОСОВ, ООО «Ростовский литейный завод», г. Ростов-на-Дону, Россия, ул. Менжинского, 2. E-mail: fedosov-sol@mail.ru, Г. В. ЧУМАЧЕНКО, Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия, пл. Гагарина, 1. E-mail: gchumachenko@dstu.edu.ru

A. V. FEDOSOV, «JSC Rostov foundry», Rostov-on-Don, Russia, 2, Menzhinsky str. E-mail: fedosov-sol@mail.ru, G. V. CHUMACHENKO, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, 1, Gagarin sq. E-mail: gchumachenko@dstu.edu.ru

Рассмотрены этапы внедрения средств компьютерного моделирования в производственный процесс ООО «РЛЗ». Предложена система оценки результатов моделирования, которая включает определение комплексных параметров, позволяющих проводить оценку причин и вероятности образования усадочных дефектов. Предложено уравнение, определяющее связь между результатами моделирования и фактическим браком в производстве. Для оценки причин образования усадочных дефектов предложено использовать индекс работы питателя. Для оценки возможности уменьшения массы литниковой системы предложено использовать индекс выхода годного. Разработаны уравнения для расчета этих индексов. Представлен системный подход по применению результатов моделирования, предусматривающий организацию базы данных прорабатываемых технологий. Развитие этой базы позволяет не только аккумулировать накопленный опыт, но и применять его для минимизации ошибок и экономии времени в процессе внедрения новых отливок. Представлены результаты практического применения разработанной системы для 10 позиций, что позволило увеличить выход годного на 6,9% и сократить уровень общего брака на 5,1%.

The stages of introduction of computer simulation tools in the production process of The Rostov Foundry are considered. A system for estimating the results of simulation is proposed, which includes the definition of complex parameters that allow an assessment of the causes and the probability of formation of shrinkage defects. An equation that determines a relationship between results of simulation and actual rejects in production is proposed. The feeder operation index is suggested to use for estimation of the reasons for the formation of shrinkage defects. The yield index is suggested to evaluate the possibility of reducing the weight of gate system. Equations for calculating of these indices are developed. A systematic approach is presented for the application of simulation results, which provides for the organization of a database of the technologies being studied. The development of this base allows not only to accumulate the experience, but also to apply it to minimize errors and save time in the process of introducing new castings. The results of practical application of the developed system for 10 positions are presented, which allowed to increase the yield by 6.9% and to reduce the total defects rate by 5.1%.

Ключевые слова. Компьютерное моделирование, оптимизация, выход годного, усадка, прибыль.

Keywords. Computer simulation, optimization, yield, shrinkage, income.

Активные работы по разработке и применению средств компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) были начаты порядка 25–30 лет назад. Однако широкое использование данных продуктов на отечественных литейных предприятиях началось не так уж давно. Причиной этому являлись как недоработки со стороны разработчиков и распространителей программного обеспечения, так и высокая инерционность со стороны отечественного потребителя. Сегодня уже на многих предприятиях достигнуто понимание практической значимости применения СКМ ЛП. Об этом свидетельствует появление в литературе большого количества положительных примеров как индивидуальных решений [1, 2], так и опыта разработки схем интеграции СКМ ЛП в производственный процесс [3, 4]. Однако

формирование полноценного системного подхода по применению СКМ ЛП на всех этапах производства находится на стадии разработки и требует продолжения работ в этом направлении.

Цель работы – разработка системного подхода по применению средств математического моделирования для оптимизации технологии производства отливок в песчано-глинистые формы; улучшение технико-экономических показателей производства отливок из высокопрочного чугуна в условиях ООО «РЛЗ».

С 2009 г. на ООО «РЛЗ» организовано крупносерийное производство мелких и средних отливок из высокопрочного чугуна на базе технологии внутриформенного модифицирования. За это время на предприятии сформировался внушительный действующий парк модельной оснастки, технологии для которого разрабатывались с применением различных методик и подходов по расчету ЛПС. Данный факт и различный уровень проработки привели к тому, что применяемые технологии сильно отличаются по показателям эффективности. С 2015 г. на предприятии начато освоение СКМ ЛП, что позволяет не только производить индивидуальную оценку эффективности технологий, но и расширить возможности системного подхода к разработке новых и оптимизации действующих литейных технологий. Как и внедрение большинства новых подходов в производство, освоение СКМ ЛП происходит поэтапно:

- 1) оценка адекватности результатов моделирования применительно к локальным особенностям производства;
- 2) корректировка входных параметров модели с целью обеспечения максимальной согласованности результатов прогноза с производственными данными; разработка системы оценки результатов прогноза;
- 3) применение СКМ ЛП на этапе оптимизации действующих технологий и наработка опытной базы данных по результатам моделирования;
- 4) разработка системного подхода по применению результатов моделирования для получения максимальной точности прогноза при разработке новых технологий.

По каждому из перечисленных этапов на ООО «РЛЗ» был проведен большой объем работ.

Первый этап освоения СКМ ЛП очень важен, поскольку происходит первое сопоставление ожиданий и возможностей предлагаемого программного комплекса. На этом шаге важно понимать, что результаты моделирования обладают некоторой статистической неопределенностью вследствие применения различных расчетных сеток и экспериментальных данных по теплофизическим параметрам системы. В таком случае полученный прогноз более корректно характеризовать некоторой областью достоверности. С другой стороны, на производственные результаты оказывает влияние дрейф технологических параметров (химический состав, температура и др.), поэтому адекватность компьютерного прогноза должна оцениваться с учетом диапазона допустимых отклонений.

Определенной сложностью при прохождении первого этапа на ООО «РЛЗ» было то, что производство отливок для машин сельскохозяйственного назначения позволяет согласовывать достаточно большие допуски на дефекты с последующим их исправлением. Поэтому для ряда отливок прямое сопоставление результатов моделирования и статистики по браку показало существенное расхождение. Значительно сократить этот разрыв позволило вовлечение в процесс анализа дополнительных данных об уровне исправления литейных дефектов и о нарушениях технологических режимов. Таким образом, максимальная согласованность компьютерного прогноза и фактических данных была достигнута благодаря использованию комплексных параметров, которые объединяют прямые и косвенные данные, отражающие наличие дефекта в отливке.

Следующим важным фактором в процессе достижения высокой достоверности компьютерного прогноза является разработка системы оценки результатов моделирования. Рассмотрим в качестве примера оценку вероятности образования усадочных дефектов. Как правило, результатом расчета математической модели является поле распределения относительной плотности материала в объеме отливки. В этом случае оценку вероятности образования дефектов следует проводить по двум критериям: площади и степени поражения расчетного объема отливки. С одной стороны, чем выше локальные значения поля усадки, тем выше вероятность образования усадочных раковин, с другой стороны, эта вероятность уменьшается с уменьшением пораженности расчетного объема. Так, на ООО «РЛЗ» для оценки вероятности образования усадочных дефектов применяется уравнение:

$$\text{Shr} = \text{Shr}_{\max}^{(n-m\text{Shr}_{(v)})},$$

где Shr – вероятность образования дефекта, отн. ед.; $\text{Shr}_{\max}$ – максимальное локальное значение поля усадки, отн. ед.; $\text{Shr}_{(v)}$ – относительный объем отливки, пораженный усадкой, отн. ед.; n, m – коэффициенты пропорциональности.

Определение коэффициентов пропорциональности производится на основе достижения максимальной корреляции между расчетными и фактическими значениями уровня брака.

Помимо прогнозирования собственно уровня брака, отдельный интерес представляет оценка причины его образования. В качестве наиболее распространенных причин образования усадочных раковин можно выделить следующие: недостаточность объема прибыли и раннее перемерзание питателя. Анализ временных срезов процесса кристаллизации отливки позволяет прогнозировать степень влияния этих причин при оценке работы ЛПС. Так, на ООО «РЛЗ» было предложено использовать индекс работы питателя (ИРП), характеризующий соотношение объема жидкой фазы, оставшейся в ЛПС после кристаллизации отливки, к жидкой фазе, изолированной в отливке в момент перемерзания питателей. ИРП представляет собой нормализованную величину и определяется по уравнению:

$$\text{ИРП} = 1 - (\text{Ж}_\Pi - \text{Ж}_3)^{k(1-\text{Ж}_\Pi)},$$

где Ж_Π – объем жидкой фазы в момент перемерзания питателей, отн. ед.; Ж_3 – объем жидкой фазы в момент полной кристаллизации отливки, отн. ед.; Ж_Π – объем жидкой фазы, изолированной в отливке, отн. ед.; k – коэффициент пропорциональности.

Значение ИРП, равное 1, указывает на полноценную работу питателя, т. е. его перемерзание происходит не ранее полного затвердевания отливки. Чем меньше это значение, тем раньше происходит перемерзание питателя и больше объема жидкой фазы остается изолированным в отливке, что в результате приводит к увеличению вероятности образования усадочных дефектов. Так, ИРП может быть использован для оценки причины образования усадки. Высокие значения ИРП указывают на недостаточность объема прибыли и необходимость его увеличения, тогда как низкие значения указывают на необходимость увеличения сечения питателя или изменения точки подвода металла.

Не меньший интерес представляет оценка возможности увеличения выхода годного литейных технологий. Для этой цели разработан индекс выхода годного (ИВГ), который является логическим развитием характеристики ИРП. ИВГ определяется произведением доли жидкой фазы, оставшейся в ЛПС в момент полного затвердевания отливки и величины ИРП. Значения ИВГ также являются нормированными, и, по сути, выражают избыточный объем литниковой системы, который, весьма вероятно, не оказывает влияния на процесс формирования отливки.

Применение предложенных комплексных параметров на ООО «РЛЗ» позволяет значительно повысить релевантность результатов компьютерного моделирования литейных технологий и их согласованность с фактическими данными по оценке качества литья.

Первые положительные результаты применения СКМ ЛП были получены при решении задачи оптимизации действующих литейных технологий с целью увеличения выхода годного для отливок из стали и высокопрочного чугуна. На первом этапе этой задачи необходимо определить перечень позиций, обладающих высоким потенциалом в отношении уменьшения массы литниковой системы. При этом чаще всего применяется экспертная оценка, недостатком которой является возможность проведения только качественной оценки. Расчет же и анализ значений ИВГ позволяют количественно оценить резервы по снижению массы ЛПС и произвести их ранжирование. Таким образом, применение ИВГ существенно улучшает качество поиска технологий для проведения оптимизации. Следует отметить, что полностью отказаться от экспертной оценки в пользу применения ИВГ пока не представляется возможным, эти два подхода хорошо дополняют друг друга и позволяют повысить эффективность оценки.

Схема дальнейшей работы подобна многочисленным итерационным схемам, представленным в литературе, но с дополнением в виде применения значений ИВГ. В качестве критерия оптимальности принимается величина ВГ с обязательным условием обеспечения требуемого уровня качества и дополнительным условием порога ИВГ, например, не менее 4%.

Пороговое значение ИВГ вводится для обеспечения некоторого запаса покрывающего колебания технологических факторов в производстве, что позволяет учитывать уровень организации производства и добиться стабильности показателей качества при реализации технологии. В таблице представлены результаты расчетов рассмотренных величин для цикла оптимизации отливки «Винт». Исходная технология представлена под кодом варианта, равным нулю. В этом примере видно, как изменяются условия питания отливки и выход годного для различных технологических вариантов. Последний вариант, безусловно, является лидером, однако технология при этом претерпела кардинальные изменения, что связано со значительными затратами на разработку и изготовление полностью нового комплекта. Таким об-

разом, окончательный выбор наиболее эффективного варианта может быть произведен после взвешивания эффекта от применения новой технологии и затрат на ее реализацию.

Пример процесса оптимизации технологии с применением ИРП и ИВГ

Код варианта	Время затвердевания, (ч, м, с)	Доля жидкой фазы, %			ИРП	ИВГ, %	Объем усадки в теле отливки, %	Максимальная пористость, %	Вероятность образования дефекта	Выход годного, %
		в момент полного затвердевания	перемерзания питателей	изолированной в отливке, %						
0	0:09:06	15	26	30	0,5	8,1	10	50	60,3	48
1	0:09:06	14	18	15	0,7	10,4	14	50	63,2	40
2	0:08:19	14	28	30	0,5	7,0	10	50	60,3	52
3	0:08:19	5	10	5	0,8	3,8	5	12	17,8	37
4	0:08:10	14	28	30	0,5	7,0	10	50	60,3	53
5	0:08:10	5	5	0	1,0	5,0	5	12	17,8	35
6	0:05:45	4	4	0	1,0	4,0	0	0	→0	50

Безусловным преимуществом является проведение оптимизации при наличии фактических производственных данных по рассматриваемой технологии. В этом случае результаты прогноза могут быть напрямую соотнесены с фактическими данными и использоваться в качестве базовой точки отсчета для оценки эффективности предлагаемых изменений, что позволяет наиболее точно прогнозировать ожидаемый уровень качества новой технологии с учетом всех особенностей и специфики рассматриваемой отливки. Однако это не представляется возможным в процессе подготовки производства новых отливок. Внедрение каждой новой отливки, даже с конфигурацией, подобной действующей, может обернуться неприятным сюрпризом. В этом случае разумным является подстраховка и назначение избыточных характеристик, неблагоприятно сказывающихся на эффективности технологии, которую впоследствии приходится оптимизировать. Снизить до минимума количество недочетов и ошибок в процессе подготовки производства позволяет опыт, полученный на базе анализа действующих технологий. В этом отношении весьма важны систематизация и организация базы данных проведенных расчетов, результатом анализа которой является пакет коэффициентов и статистических характеристик, применяемых для оценки соответствия результатов прогноза и фактических производственных данных. Достаточная полнота базы данных позволяет производить группировку отливки по различным технологическим и конструкционным характеристикам, таким, как габарит, приведенная толщина стенок и др. Благодаря этому появляется возможность подстраиваться под особенности новой конфигурации отливки и существенно увеличивать точность выполняемого для нее прогноза.

Для достижения максимальной эффективности от применения результатов математического моделирования представленные выше подходы необходимо связать в единую систему. На рисунке три основных направления применения СКМ ЛП объединены в систему посредством обмена коэффициентами и расчетными данными. Основой представленной системы является база данных расчета технологических вариантов литниковых систем, связанная с производственной базой учета брака. Пополнение этих двух баз данных будет сопровождаться непрерывным улучшением качества прогноза математического моделирования и соответственно повышением эффективности процессов оптимизации и подготовки производства.

В представленной схеме не отображено исследовательское направление применения СКМ ЛП. На наш взгляд, целесообразно не включать данное направление в общую производственную систему, что позволит обеспечить его независимость от производственных штампов, которые могут ограничивать эффективность поиска новых решений и подходов.



Схема применения средств математического прогнозирования и технологического анализа в литейном производстве

Применение рассмотренной системы, даже при использовании технологической базы данных объемом порядка 30 отливок, позволило успешно провести оптимизацию действующей технологии для 10 наименований. В результате средняя величина выхода годного для этих отливок была увеличена на 6,9%, при этом уровень общего брака был снижен на 5,1%.

Необходимо отметить, что ни для одной из оптимизированных технологий не наблюдалось увеличения уровня как внутреннего, так и внешнего брака, что свидетельствует о высоком достигнутом уровне соответствия между результатами прогноза и фактическим уровнем брака.

В результате на ООО «РЛЗ» были проведены все четыре этапа освоения СКМ ЛП. С уверенностью можно сказать о достигнутом положительном опыте оптимизации действующих литейных технологий и разработке системного подхода по применению результатов моделирования. На этапе подготовки производства организовано использование базы данных накопленного опыта, развитие которой способствует непрерывному увеличению точности компьютерных прогнозов, что благоприятно сказывается на сокращении материальных и временных затрат в процессе освоения новых отливок.

Выводы

В процессе внедрения СКМ ЛП на ООО «РЛЗ» была разработана система оценки результатов моделирования, включающая определение комплексных параметров для оценки вероятности и причин образования усадочных дефектов. Применение предложенных параметров на ООО «РЛЗ» позволило значительно повысить релевантность результатов компьютерного моделирования литейных технологий и их согласованность с фактическими данными по оценке качества литья.

Предложен системный подход по применению результатов моделирования, включающий создание и непрерывное пополнение базы данных прорабатываемых технологий, которая в свою очередь является источником пакета параметров, отражающих накопленный опыт и позволяющих уточнять результаты прогноза. Развитие этой базы позволяет не только аккумулировать наработанный опыт, но и применять его для минимизации ошибок и экономии времени в процессе внедрения новых отливок.

Практическое применение разработанной системы на 10 позициях позволило увеличить выход годного на 6,9% и сократить уровень общего брака на 5,1%.

Литература

1. Ваченко А. С. Математическое моделирование как инструмент технолога-литейщика // Литейное производство. 2015. № 3. С. 30–32.
2. Монастырский А. В. Излом боковой рамы тележки грузового вагона. Анализ технологии производства, пути устранения дефектов / А. В. Монастырский, В. М. Бубнов, С. В. Котенко, В. В. Балакин // САПР и графика. 2013. № 1 (195). С. 95–99.
3. Монастырский А. В. О современных методах разработки и оптимизации технологических процессов в литейном производстве // Литейное производство. 2010. № 5. С. 19–22.
4. Огородникова О. М., Мартыненко С. В., Будяк Е. С. Опыт внедрения системы компьютерного моделирования литейных процессов на ОАО «НПК Уралвагонзавод» // Тр. одиннадцатого съезда литейщиков России. Нижний Тагил: Уралвагонзавод, 2013. С. 367–370.

Reference

1. Vachenko A. S. Matematicheskoe modelirovanie kak instrument tehnologa-litejshhika [Mathematical modeling as an instrument of a foundry technologist]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production*, 2015, no. 3, pp. 30–32.
2. Monastyrskij A. V., Bubnov V. M., Kotenko S. V., Balakin V. V. Izlom bokovoj ramy telezhki грузового вагона Analiz tehnologii proizvodstva, puti ustraneniya defektov [Fracture of the side frame of the freight car trolley. Analysis of production technology, ways to eliminate defects]. *SAPR i grafika = CAD system and graphics*, 2013, no. 1 (195), pp. 95–99.
3. Monastyrskij A. V. O sovremennyh metodah razrabotki i optimizacii tehnologicheskikh processov v litejnom proizvodstve [Modern Methods of Developing and Optimizing the Manufacturing Processes in the Foundry Industry]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production*, 2010, no. 5, pp. 19–22.
4. Ogorodnikova O. M., Martynenko S. V., Budjak E. S. Opyt vnedreniya sistemy komp'yuternogo modelirovaniya litejnyh processov na ОАО «НПК Уралвагонзавод» [Experience in implementing the computer simulation of foundry processes at NPK Uralvagonzavod]. *Trudy odinnadcatogo sezda litejshhikov Rossii = Proceedings of the 11th Conference of the Russian foundrymen*. Nizhniy Tagil, Uralvagonzavod, 2013, pp. 367–370.



УДК 543.39: 665.081

Поступила 15.09.2017

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ НА ЕЕ СОЛЕСОДЕРЖАНИЕ И СТЕПЕНЬ ОСВЕТЛЕНИЯ

THE EFFECT OF CHEMICAL TREATMENT OF RECYCLED WATER IN THE PRODUCTION OF MINERAL WOOL ON ITS SALINITY AND LIGHTNESS

*А. С. ПАНАСЮГИН, С. В. ГРИГОРЬЕВ, А. И. ТЕРАН, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: niilogaz@tut.by,
А. Р. ЦЫГАНОВ, Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Беларусь, ул. Свердлова, 13А. E-mail: tziganov@belstu.by, Н. П. МАШЕРОВА, Военная академия Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 220. E-mail: masherov.petr@mail.ru,
Н. Д. ПАВЛОВСКИЙ, Гродненский государственный медицинский университет, г. Гродно, Беларусь, ул. Горького, 80*

A. S. PANASYUGIN, S. V. GRIGOR'EV, A. I. TERAN, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: niilogaz@tut.by, A. R. TSYGANOV, Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus, 13A, Sverdlova str. E-mail: tziganov@belstu.by, N. P. MASHEROVA, Military Academy of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus, 220, Nezavisimosti ave. E-mail: masherov.petr@mail.ru, N. D. PAWLOWSKI, Grodno State Medical University, Grodno, Belarus, 80, Gorky str.

В ходе выполнения работ по оценке влияния химической обработки оборотной воды производства минеральной ваты на ее солесодержание и степень осветления установлено, что наиболее пригодным реагентом для решения поставленных задач является 25%-ный водный раствор аммиака. Показано, что оптимальным количеством аммиака для проведения процесса осаждения является диапазон 4–6 мл/дм³, меньшее количество не дает заметного осветления оборотной воды и снижения сухого остатка, большее приводит к повторному растворению уже образовавшегося осадка и соответственно к снижению доли осветленной воды и увеличению содержания растворенных солей. Установлен трехстадийный характер процесса взаимодействия аммиака и оборотной воды.

Выявлено, что процесс осаждения в системе оборотная вода – аммиак на начальном этапе лимитирует химическая стадия зародышеобразования (формирование кристаллического осадка), далее – реакции на границе раздела фаз (образование на поверхности исходного зародышей сплошного продукта реакции), а на заключительной стадии – рост сплошного слоя продукта реакции и еще непрореагировавшего аммиака.

In progress to assess the impact of chemical treatment of recycled water in the production of mineral wool, its salinity and the degree of clarification found that the most suitable reagent to achieve the objectives is a 25% aqueous ammonia solution. It is shown that the optimum quantity of ammonia to initiate the process of deposition is in the range of 4–6 ml/dm³, lower number gives a noticeable lightening of recycled water and reduction of solids, a larger leads to a re-dissolution of already formed sludge and therefore to reduce the share of bleached water and increase the content of dissolved salts.

Installed three stage character of the process of interaction of ammonia and recycled water. It is revealed that the deposition process in the recycling system water – ammonia at the initial stage limits the chemical stage of nucleation (the formation of a crystalline precipitate), followed by reaction at the interface (the formation on the surface of the original germs of continuous product).

Ключевые слова. Минеральная вата, аммиак, кинетика, степень осветления.

Keywords. Mineral wool, ammonia, kinetics, degree of clarification.

Интенсивное развитие промышленности приводит к значительному росту различных типов отходов, в частности, сталеплавильных шлаков, что характеризуется высокой антропогенной нагрузкой на окру-

жающую среду из-за несовершенства технологических процессов и накопления огромного количества данного класса отходов, что, в свою очередь, делает более сложным обеспечение экологической безопасности прилегающих территорий. Это выражается в том, что для их безопасного хранения необходимо создание специализированных промплощадок и полигонов, при отсутствии которых в ходе контакта с атмосферной влагой очаги загрязнений становятся децентрализованными, и на несколько порядков могут превышать площади их первоначального складирования [1, 2].

Сталеплавильные шлаки с экономической точки зрения могут рассматриваться как потенциальное вторичное сырье и составляющих компонентов для производства строительных материалов: портланд-цементного клинкера, керамзита, кирпича, асфальтобетона при соответствующем технологическом и нормативном обеспечении [3, 4].

Внедрение малоотходных технологий стимулирует реализацию мероприятий по охране окружающей среды: выявление ресурсной ценности и полезных свойств металлургических шлаков, обоснование целесообразности их утилизации в качестве технических материалов и компонентов при производстве различных изделий, в частности минеральных ват (шлаковат).

В настоящее время минеральная вата используется в различных областях промышленности в качестве термоизоляционного и звукопоглощающего материалов, интерес к которым обусловлен, прежде всего, следующими ее свойствами:

1. Высокой огнестойкостью. При производстве некоторых сортов ваты используются лишь негорючие расплавы силикатных пород. Это обеспечивает материалу высокую степень огнестойкости. Такая вата не горит под действием высоких температур, а также не деформируется. По этой причине минеральной ватой обшивают помещения, где хранятся различные огнеопасные вещества.

2. Устойчивостью к химическим веществам. Вата плохо вступает в химические реакции с различными химическими веществами, что позволяет использовать ее для обшивки лабораторий, различных цехов.

3. Устойчивостью к биологическим раздражителям. Минеральную вату не любят ни грибки, ни различные вредные насекомые и грызуны.

4. Незначительной усадкой. Многие материалы со временем усаживаются, теряя свой первоначальный объем. Это особенно критично для различных стыковых конструкций, когда уменьшение размера одного из блоков может привести к нарушению герметичности в помещении. Минеральная вата лишена этого недостатка.

5. Крайне низкой гигроскопичностью некоторых сортов минеральной ваты. Жесткая минеральная вата поглощает до 0,5% жидкости. По этой причине материал не накапливает воду.

6. Высокой паропроницаемостью. Вата хорошо пропускает различные водяные испарения. Это позволяет быстро удалять из комнаты неприятные запахи. Конденсат не оседает на такую вату.

7. Высокими звукоизолирующими свойствами. Такой ватой можно обшивать помещения не только с целью утепления, но и защиты комнаты от посторонних шумов.

8. Экологичностью. Материал безопасен для человека и не вызывает никаких аллергических реакций.

9. Простотой монтажа. Изготавливают минеральную вату специально с целью облегчения утепления помещений.

10. Долговечностью. Эксплуатационный срок составляет около 70 лет.

Процесс производства минеральной ваты состоит в следующем. Шихту подают в вагранку, где она разогревается до температуры 1290-1350 °С, затем сплав подвергают диспергированию и перерабатывают в маты. В ходе производственного процесса образуется значительное количество газовых выделений, содержащих преимущественно оксид углерода, оксиды азота, серы и механические примеси мелкодисперсных компонентов шихты (табл. 1). Для улавливания данных выбросов и охлаждения отходящих газов, температура, которых достигает 120-400 °С, в очистных сооружениях используют мокрую очистку.

В связи с тем что газовые выбросы обладают кислотными свойствами, pH оборотной воды составляет 4,5-5,2, это является одной из основных причин выщелачивания из механических примесей ионов алюминия, железа, кремния, кальция, магния и т.д. Это приводит к тому, что солесодержание в оборотной воде может достигать 11-13 г/л.

Существующие на большинстве предприятий системы очистных сооружений не в состоянии обеспечить снижения солесодержания, так как они рассчитаны и используются для удаления грубодисперсных механических примесей. Результатом этого является снижение эффективности пылегазоулавливания, рост накладных расходов на содержание и эксплуатацию очистных сооружений из-за отложения солей на внутренних поверхностях трубопроводов.

Т а б л и ц а 1. Химический состав компонентов шихты

Показатель	Значение, мас. %
<i>Щебень из сталеплавильного шлака</i>	
SiO ₂	36,7–38,6
Al ₂ O ₃	8,7–10,76
MgO	2,0–3,5
CaO	38,4–45,0
S(SO ₃)	не более 5
n,n,n,	0,0–0,97
<i>Кокс доменный</i>	
Зольность	не более 11
Общая сера	не более 2,0
Общая влажность	не более 5,0
<i>Кокс литейный каменноугольный</i>	
Сера	0,6–1,4
Зольность	не более 11,5–12
Влажность	не более 5
SiO ₂	48,0–51,0
Al ₂ O ₃	12,0–17,00
MgO	4,5–6,0
CaO	8,5–10,0
K ₂ O + Na ₂ O	0,2–3,5
Fe ₂ O ₃	3,0–8,0
FeO	5,0–11,0

Для снижения солесодержания и повышения степени осветления оборотной воды необходимо проводить ее химическую обработку. В качестве нейтрализующего реагента выбран водный раствор аммиака. Это обусловлено тем, что аммиак в отличие от других осадителей (известкового молока, щелочей и др.) не дает увеличения содержания солей жесткости при очистке воды, кроме того, он используется в ряде технологических операций на заводах по производству минеральной ваты.

Цель настоящей работы – определение оптимальных условий химической обработки, механизма и кинетических параметров данного процесса.

Методы проведения исследований.

Определение полноты и скорости осветления оборотной воды

Скорость и полноту осветления оборотной воды определяли путем помещения в мерные цилиндры (второго класса точности) 500 мл оборотной воды с последующей ее обработкой различными объемами 25%-ного аммиака (1–14 мл/дм³). После внесения аммиака через заданные промежутки времени по шкале мерных цилиндров определяли движение границы раздела фаз. На основании полученных экспериментальных данных строили кривые зависимости полноты и скорости осветления оборотной воды для различных количеств аммиака.

рН определяли на прецизионном цифровом рН-метре «HANNA-HI 8314m, калибровку которого проводили по буферным стандартным растворам в интервале 1,68–12,30 ед. рН по методике [5].

Определение сухого остатка осветленной воды проводили на электронных весах OHAUS Explorer Pro по методике [6].

Обсуждение результатов

На рис. 1 приведены кинетические кривые осаждения в системе оборотная вода – аммиак.

Исходя из данных рисунка, скорости реакции и зависимости степени превращения α от времени t – кривые, которые имеют вид сигмоидный (или S-образный), что является характерной особенностью топохимических реакций. Результаты анализа приведены в табл. 2.

Из рисунка видно, что кривые равновесия в системе оборотная вода – аммиак характеризуются максимальной относительной скоростью в начальный момент времени, затем скорость процесса монотонно снижается. Также скорость осветления растет от 1,78 мл/мин для 1 мл/дм³ до 4,34–4,47 мл/мин для

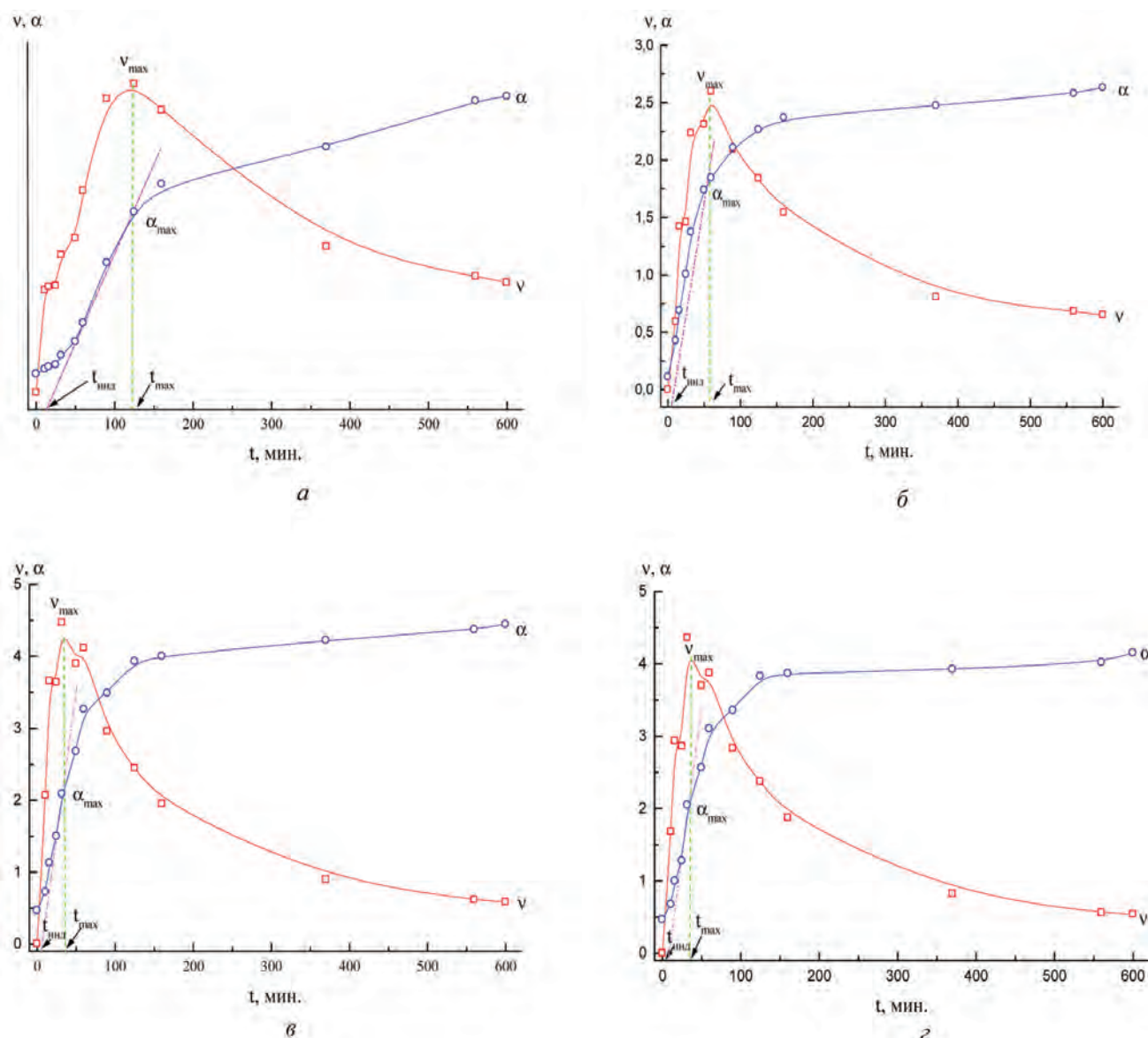


Рис. 1. Кинетические кривые: α – степень превращения; v – скорость реакции; t – время от начала реакции; $t_{\text{инд}}$ – время индукции; v_{max} , α_{max} , t_{max} – максимальная скорость, соответствующие ей степень превращения и время от начала реакции; а, б, в, г – соответственно для 1,0; 2,0; 4,0 и 6,0 мл NH_3 на 1 дм³ осветляемого раствора

Т а б л и ц а 2. Показатели скорости реакции и зависимости степени превращения

Количество аммиака, мл/л	$t_{\text{инд}}$, мин	v_{max} , мл/мин	t_{max} , мин	α_{max} , мас. %
1	15,3	1,78	110,0	44,6
2	7,8	2,6	60,0	56,4
4	7,2	4,47	34,5	57,0
6	6,4	4,34	36,25	55,2

4–6 мл/дм³. При этом время самой активной фазы сокращается с 110 до 34,5–36,25 мин, фактически в 3 раза.

На рис. 2 приведены результаты измерений кажущегося объема осадка, объема осветленной воды, сухого остатка осветленной воды в зависимости от количества аммиака, использованного при обработке оборотной воды.

Приведенные данные показывают, что оптимальным количеством аммиака для проведения процесса осаждения является диапазон 4–6 мл/дм³, меньшее количество не дает заметного осветления оборотной воды и снижения сухого остатка, большее приводит к повторному растворению уже образовавшегося осадка и соответственно к снижению доли осветленной воды и увеличению содержания растворенных

солей. Исходя из изложенного выше, при определении механизма и кинетических параметров данного процесса рассматривался диапазон 4–6 мл/дм³.

С учетом того, что в ходе производственного процесса в оборотной воде присутствует значительное количество механических примесей мелкодисперсных компонентов шихты, на наш взгляд, было рационально принять во внимание модель формирования осадка (рис. 3), где показана схема развития реакционной зоны на границе раздела фаз.

В данном случае, когда реакция протекает в кинетической области, топохимическую реакцию можно представить как последовательность следующих стадий [2]:

- 1) образование отдельных молекул или элементарных ячеек продукта реакции на поверхности раздела фаз;
- 2) возникновение отдельных зародышей (ядер) фазы продукта реакции (рис. 3, t_2);

3) рост ядер вплоть до их смыкания (рис. 3, t_3), образование на поверхности исходного вещества сплошного продукта реакции;

4) рост сплошного слоя продукта реакции и поверхности еще непрореагировавшего вещества (рис. 3, t_4).

При описании процесса осаждения, учитывая его сложный характер, необходимо знание механизма и кинетических характеристик его отдельных стадий. Описание кинетики осаждения на основе формально-кинетического анализа [7, 8] позволяет учесть вклад диффузии и химических реакций, а также определить кинетические параметры.

Для оценки механизма и кинетических параметров процесса осаждения применяли формально-кинетический подход, основанный на связи относительной скорости осаждения (α) и времени (τ) [7–9]. Выбор функции (α), описывающей механизм процесса осаждения, осуществляли по способу, предложенному в работе [7].

Вид кинетических кривых, представленный в координатах – $\lg \alpha - \tau$, позволил предположить многостадийный характер протекания процесса (рис. 4). При обработке кинетических кривых использовали упрощенные модели, учитывающие, что скорость процесса может контролироваться диффузией либо протеканием химических реакций. Применение формально-кинетического подхода при выборе модели, описывающей экспериментальные кинетические данные осаждения на основе закономерности $g(\alpha) = f(\tau)$, позволило определить механизм осаждения на отдельных стадиях процесса и кинетические характеристики [7].

Вид функции $g(\alpha)$ зависит от механизма процесса и, как правило, заранее неизвестен. Для каждой установленной стадии, соответствующей определенному интервалу α , выбирали такую функцию $g(\alpha)$, соответствующую определенной кинетической модели, которая представляет идеализированное протекание процесса.

В табл. 3 представлены механизмы с соответствующими видами функции $g(\alpha)$ [8, 10].

Из совокупности уравнений были выбраны те, которые в заданной области степени завершения процесса давали минимальное значение дисперсии, т. е. описывали процесс в системе на данном этапе с максимальной вероятностью. С учетом области применимости были выбраны три модели, которые наиболее соответствуют реальным процессам в системе оборотная вода–аммиак.

Кинетические параметры оценивали, используя зависимость $g(\alpha)$ от τ .

Установлено, что процесс осаждения в системе оборотная вода–аммиак на начальном этапе лимитирует химическая стадия

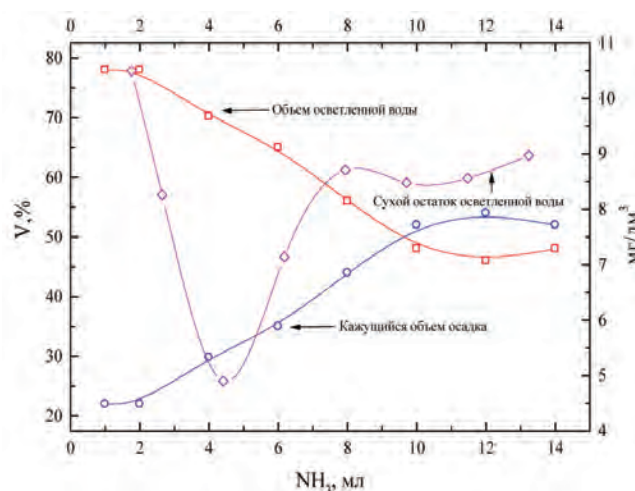


Рис. 2. Изменение кажущегося объема осадка, объема осветленной воды, сухого остатка осветленной воды в зависимости от количества аммиака, использованного при обработке оборотной воды

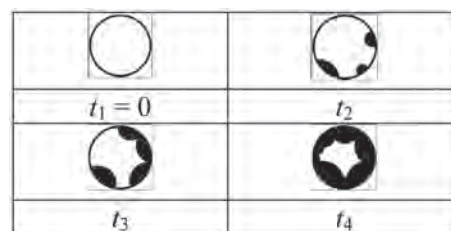


Рис. 3. Схема развития реакционной зоны на границе раздела фаз

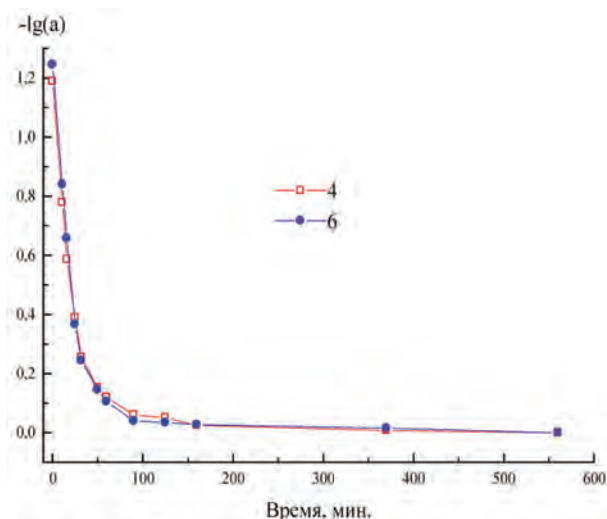


Рис. 4. Зависимость изменения значений функции $-\lg \alpha$ от времени t

чалось выше, образованию на поверхности зародышей сплошного слоя продуктов реакции.

В интервале α от 0,70 до 0,99 процесс обусловлен реакциями на границе раздела фаз по уравнению $[1 - (1 - \alpha)^{1/3}]^2$, ростом сплошного слоя продуктов реакции и непрореагировавшего аммиака.

Значения кинетических характеристик при различных значениях α и дисперсия в области линейности функции $g(\alpha)$ представлены в табл. 4.

зародышеобразования (формирование кристаллического осадка), далее – реакции на границе раздела фаз (образование на поверхности зародышей сплошного слоя продуктов реакции), а на заключительной стадии – рост сплошного слоя продуктов реакции и еще непрореагировавшего аммиака.

В интервале α от 0,10 до 0,70 процесс описывается уравнением Авраами-Ерофеева: $g(\alpha) = -\lg(1 - \alpha)^{1/n}$. Значение n , равное 3, свидетельствует о замедленности кинетической стадии химического процесса [7]. Также обращает на себя внимание тот факт, что при введении в реакционную смесь 1 мл/дм³ аммиака интервал α , описываемый уравнением Авраами-Ерофеева, составляет 0,1–0,15, что обусловлено недостаточным количеством аммиака.

В интервале α от 0,68 до 0,93 (кроме случая введения в реакционную смесь 1 мл/дм³ аммиака) процесс характеризуется реакциями на границе раздела фаз и соответствует уравнению $1 - (1 - \alpha)^{1/3}$, и, как отме-

Таблица 3. Возможные механизмы процесса осаждения в системе оборотная вода – аммиак

Механизм	Вид функции $g(\alpha)$
Трехмерная диффузия	$[1 - (1 - \alpha)^{1/3}]^2$
Диффузия по Гинстлингу-Броунштейну	$[1 - 2/3 \alpha - (1 - \alpha)^{2/3}]$
Диффузия по Журавлеву-Темпельману	$[1 / (1 - \alpha)^{1/3}]^2$
Реакция на границе раздела фаз	$1 - (1 - \alpha)^{1/3}$
Зародышеобразование по Авраами-Ерофееву	$-\lg(1 - \alpha)^{1/n}$
Зародышеобразование по Прауту-Томпкинсу	$\lg 1 / (1 - \alpha)$

Таблица 4. Кинетические параметры процесса осаждения в системе оборотная вода – аммиак

Количество NH_3 , мл/л	Интервал α	Вид функции $g(\alpha)$	Дисперсия $D \cdot 10^3$
1	0,10–0,15	$-\lg(1 - \alpha)^{1/n}$	0,61
	0,15–0,70	$1 - (1 - \alpha)^{1/3}$	2,23
	0,70–0,99	$[1 - (1 - \alpha)^{1/3}]^2$	1,64
2	0,10–0,68	$-\lg(1 - \alpha)^{1/n}$	0,89
	0,68–0,83	$1 - (1 - \alpha)^{1/3}$	2,04
	0,83–0,99	$[1 - (1 - \alpha)^{1/3}]^2$	1,54
4	0,10–0,76	$-\lg(1 - \alpha)^{1/n}$	1,09
	0,76–0,93	$1 - (1 - \alpha)^{1/3}$	1,77
	0,93–0,99	$[1 - (1 - \alpha)^{1/3}]^2$	1,06
6	0,10–0,72	$-\lg(1 - \alpha)^{1/n}$	1,43
	0,72–0,87	$1 - (1 - \alpha)^{1/3}$	2,11
	0,87–0,99	$[1 - (1 - \alpha)^{1/3}]^2$	1,53

Таким образом, в ходе выполнения работ по оценке влияния химической обработки оборотной воды производства минеральной ваты на ее солесодержание и степень осветления установлено, что наиболее пригодным реагентом для решения поставленных задач является 25 %-ный водный раствор аммиака.

Показано, что оптимальным количеством аммиака для проведения процесса осаждения является диапазон 4–6 мл/дм³, меньшее количество не дает заметного осветления оборотной воды и снижения сухо-

го остатка, большее приводит к повторному растворению уже образовавшегося осадка и соответственно к снижению доли осветленной воды и увеличению содержания растворенных солей.

Установлен трехстадийный характер процесса взаимодействия аммиака и оборотной воды.

Выявлено, что процесс осаждения в системе оборотная вода – аммиак на начальном этапе лимитирует химическая стадия зародышеобразования (формирование кристаллического осадка), далее – реакции на границе раздела фаз (образование на поверхности исходного зародышей сплошного продукта реакции), а на заключительной стадии – рост сплошного слоя продукта реакции и еще непрореагировавшего аммиака.

Литература

1. Ляшко И. И. Логистические принципы разработки стратегии управления вторичными ресурсами // Сб. науч. статей XIII междунар. науч.-практ. конф. «Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов». УркГНТЦ «Энергосталь». Харьков: Райдер, 2005. С. 188–193.
2. Амита́н В. Н., Потапова Н. Н. Региональные аспекты управления ресурсосбережением // Менеджер. Вестн. ДонГАУ. 2002. С. 115–120.
3. Тимофеева С., Барасов А. и др. Комплексная оценка технологий утилизации осадков сточных вод гальванических производств // Химия и технология воды. 1991. Т. 13. № 1. С. 68–71.
4. Лиси́цкая И. Н. Утилизация отходов гальванического производства // Водоснабжение и санитарная техника. 1991. № 10. С. 6–7.
5. МВИ Определение pH потенциометрическим методом // Сб. методик выполнения измерений, допущенных к применению в деятельности лабораторий экологического контроля предприятий и организаций Республики Беларусь. Минск, 1997. Ч. 2. С. 201–204.
6. МВИ концентрации растворенных веществ (сухой остаток) гравиметрическим методом // Сб. методик выполнения измерений, допущенных к применению в деятельности лабораторий экологического контроля предприятий и организаций Республики Беларусь. Минск, 1997. Ч. 1. С. 235.
7. Розовский А. Я. Кинетика топохимических реакций. М.: Химия, 1974. 220 с.
8. Котова Д. Л., Крысанова Т. А., Селеменев В. Ф. // Журн. физ. химии. 1999. Т. 3. № 7. С. 1316–1318.
9. Третьяков Ю. Д. Твердофазные реакции. М.: Химия, 1978. 360 с.
10. Черенкова Ю. А., Котова Д. Л., Крысанова Т. А. и др. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2007. Т. 7. Вып. 5. С. 867–872.

References

1. Ljashko I. I. *Logisticheskie principy razrabotki strategii upravlenija vtorichnymi resursami. Sbornik nauchnyh statej XIII mezh-dunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Jekologija i zdorov'e cheloveka. Ohrana vozdushnogo i vodnogo bassejnov. Utilizacija othodov»* [Principles of logistics strategy development for the management of secondary resources. Collection of scientific papers of the XIII international scientific-practical conference «Ecology and human health. Protection of air and water basins. Waste management»]. UrkGNTC «Jenergostal». Har'kov, Rajder Publ., 2005, pp.188–193.
2. Amitan V. N., Potapova N. N. Regional'nye aspekty upravlenija resursosberezheniem [Regional aspects of resource management]. *Menedzher. Vestnik DonGAU = Management. Belletin DonGAU*, 2002, pp. 115–120.
3. Timofeeva S., Barasov I. and others. Kompleksnaja ocenka tehnologij utilizacii osadkov stochnyh vod gal'vanicheskikh proizvodstv [Comprehensive assessment of technologies for utilization of sewage sludge electroplating plants]. *Himija i tehnologija vody = Chemistry and technology of water*, 1991, no 1, pp. 68–71.
4. Lisickaja I. N. Utilizacija othodov gal'vanicheskogo proizvodstva [Disposal of galvanic waste]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika = Water supply and sanitary technique*, 1991, no. 10, pp. 6–7.
5. MVI Opredelenie pH potenciometricheskim metodom. *Sbornik metodik vypolnenija izmerenij, dopushhennyh k primeneniju v dejatel'nosti laboratorij jekologicheskogo kontrolja predpriyatij i organizacij Respubliki Belarus* [MVI Determination of pH potentiometric method for the Collection of measurement techniques allowed for use in operation of laboratories of environmental monitoring of enterprises and organizations of the Republic of Belarus], part 2, Minsk 1997, 235 p.
6. MVI koncentracii rastvorenyh veshhestv (suhoy ostatok) gravimetricheskim metodom. *Sbornik metodik vypolnenija izmerenij, dopushhennyh k primeneniju v dejatel'nosti laboratorij jekologicheskogo kontrolja predpriyatij i organizacij Respubliki Belarus'* [Measuring the concentration of dissolved substances (solids) gravimetric method for the Collection of measurement techniques allowed for use in operation of laboratories of environmental monitoring of enterprises and organizations of the Republic of Belarus], part1, Minsk, 1997, 235 p.
7. Rozovskii A. Ya. *Kinetika topohimicheskikh reakcij* [Kinetics of topochemically reactions]. Moscow, Chemistry Publ., 1974. 220 p.
8. Kotova D. L., Krysanova T. A., Selemenев V. F. *Zhurnal fizicheskoy himii = Journal of physical chemistry*, 1999, vol. 3, no. 7, pp. 1316–1318.
9. Tretyakov Yu. D. *Tvjordofaznye reakcii* [Solid-phase reaction]. Moscow, Chemistry Publ., 1978. 360 p.
10. Cherenkova Yu. A., Kotova D. L., Krysanova T. A. and others. *Sorbcionnye i hromatograficheskie processy* [Sorption and chromatographic processes], 2007, vol. 7, is. 5, pp. 867–872.



УДК 669.74

Поступила 21.11.2017

ОПТИМИЗАЦИЯ ГИДРОДИНАМИКИ ЛИТНИКОВО-ПИТАЮЩИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

OPTIMIZATION OF THE HYDRODYNAMICS OF GATING-FEEDING SYSTEMS IN ACCORDANCE WITH THE USE OF NEURO NETWORKS METHODS OF CLASSIFICATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS

И. Б. ОДАРЧЕНКО, В. А. ЖАРАНОВ, И. Н. ПРУСЕНКО, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, г. Гомель, Беларусь, пр. Октября, 48. E-mail: oda2009@gmail.com

I. B. ODARCHENKO, V. A. ZHARANAU, I. N. PRUSENKO, Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoj, Gomel, Belarus, 48, Oktyabrya ave. E-mail: oda2009@gmail.com

Представлена методика оптимизации проектирования литниково-питающих систем на основе автоматизированного алгоритма классификации технологической сложности отливок.

The method of optimizing the design of gating-feeding systems on the basis of the automated classification algorithm of technological complexity of the casting is presented.

Ключевые слова. Литниковые системы, турбулентность, классификация, оптимизация, гидродинамика, технологическая сложность изготовления.

Keywords. The gating systems, turbulence, classification, optimization, hydrodynamics, process manufacturing complexity.

В настоящий момент практически не существует программных продуктов и промышленно апробированных методик рационального выбора базовых характеристик литниково-питающих систем, позволяющих параметрически формировать модель литниковых каналов с близкими к оптимальным гидравлическим характеристикам и удовлетворяющим заданным технологическим возможностям производства.

Индивидуальность конструкции литниково-питающих систем (ЛПС) связана со спецификой геометрии отливки, технологическими особенностями формообразования и, в конечной степени, обусловлена необходимостью создания определенных гидродинамических условий движения расплава в период заполнения и при питании тела отливки.

Решение проблемы классификации и выбора параметров литниково-питающей системы может быть выполнено с использованием методов нейронных сетей. При классификации отливок нейронная сеть обучается по важнейшим параметрам технологии, таким, как характеристики 3d-модели геометрии отливки, особенностям заполнения формы расплавом, требованиям к качеству изготовления и допускаемым дефектам. В процессе обучения особенности, отличающие отливки друг от друга, составляют информационную базу для принятия решений о назначении отливок соответствующим классам. Информация о каждой отливке представлена в виде вектора конструктивных и технологических характеристик, которые наиболее достоверно соответствуют требованиям моделирования нейронной сети.

В классической постановке комплекс технологических требований к литниково-питающим системам (ЛПС) включает:

- обеспечение оптимального режима заполнения формы ($R_0 = f(V_0)$);
- обеспечение заданного давления газов во всех сечениях ЛПС ($P_{\text{лпс}} \geq P_{\text{атм}}$);
- обеспечение минимальной для установленного расхода скорости выхода металла из питателя

$V_{\text{пит}} \rightarrow V_{\text{мин}}$;

- обеспечение скорости течения расплава в песчано-глинистой форме до 1 м/с, а в местах непосредственного контакта со стенками формы до 0,75 м/с.

- ЛПС должна максимально аккумулировать неметаллические включения и газы ($M_{\text{вкл}} \rightarrow 0$);
- расход металла на конструкцию ЛС должен быть минимальным ($M_{\text{лпс}} \rightarrow 0$).

Перечисленные требования являются во многом противоречивыми с точки зрения возможностей их реализации. Поэтому выполнение на практике является сложной оптимизационной задачей литейной гидравлики, включающей большой набор параметров, взаимосвязанных и зачастую действующих в противоположных направлениях. Эффективность и успешность решения подобных задач в значительной мере определяется технологичностью отливки. Как правило, для каждой отливки конструкция литниковой системы и систем питания отливок может быть многовариантной. Однако следует отметить, что с ростом технологической и геометрической сложности уменьшается количество возможных эффективных вариантов и усложняется конструкция ЛПС. При этом, очевидно, существует интуитивно понятная закономерность, когда отливки геометрически и технологически более сложной конструкции требуют применения более сложных и соответственно массивных ЛПС.

Многокритериальная оценка технологической сложности может служить основой для выбора способа проектирования литниково-питающих систем и степени проработки вопросов литейной гидравлики методами математического моделирования. На практике она определяется достаточно приближенно, основываясь на общепринятых теоретических подходах и, безусловно, опираясь на опыт технолога. При этом тенденция к автоматизации производственных процессов литья, переход на сквозное цифровое проектирование в рамках внедрения интегрированных CAD-, CAM- и CAE-систем требуют новых подходов к автоматизации проектирования литейной технологии, в частности, ЛПС.

В применении нейронных сетей в практических задачах возникает ряд проблем, поскольку заранее не известно, какой сложности (размера) может потребоваться сеть для достаточно точной реализации классификационной задачи. Эта сложность может оказаться чрезмерно высокой, что потребует сложной архитектуры сетей. Простейшие однослойные нейронные сети способны решать только линейно разделимые задачи. Это ограничение преодолимо при использовании многослойных нейронных сетей. В общем виде можно сказать, что в сети с одним скрытым слоем вектор, соответствующий входному образцу, преобразуется скрытым слоем в некоторое новое пространство, которое может иметь другую размерность, а затем гиперплоскости, соответствующие нейронам выходного слоя. Таким образом, сеть распознает не только характеристики исходных данных, но и «характеристики характеристик», сформированные скрытым слоем.

Для построения классификатора необходимо определить, какие параметры влияют на принятие решения о том, к какому классу принадлежит образец. Для оценки технологической сложности изготовления отливок предлагается методика с выделением следующих групп оценочных параметров, влияющих на технологическую сложность изготовления отливок (рис. 1):

- A – группа сложности по толщине стенок (C_T);
- B – группа конфигурационной сложности (C_K);
- C – группа сложности по эксплуатационным требованиям (C_3);
- D – группа сложности по размерным параметрам виртуальной геометрической модели (C_B);
- E – группа сложности по материалу отливки (C_M);
- F – группа сложности по симметричности конструкции отливки (C_c);
- G – группа сложности по допускаемым дефектам (C_d).

На наш взгляд, комплекс обозначенных параметров позволяет наиболее полно оценить технологическую сложность изготовления отливок. При работе со специализированными пакетами программ для расчета и проектирования литейных технологий указанная группа параметров может быть рассчитана автоматически, по данным трехмерной модели отливки с дополнением за счет ввода данных с использованием программных анкет.

Например, при определении средневзвешенной толщины стенки (тонкостенности) (рис. 2) литой детали предлагается выполнять анализ с использованием программного обеспечения GeometricGeomCaliper (ОС Linux), которое позволяет оценить толщину стенок как сумму произведений площади поверхности с характерной толщиной, умноженной на усредненный процент площади отливки, к которому данное значение толщины относится:

$$\delta_{\text{ср}} = \Sigma(L_i \delta_i). \quad (1)$$

Коэффициенты $X1$ – $X7$ учитывают технологические особенности формовочных процессов и специфику литейных форм и определяются по результатам сопоставления весовых коэффициентов в зависимости от способа получения отливок (табл. 1).



Рис. 1. Группы параметров оценки технологической сложности отливки/литейной технологии

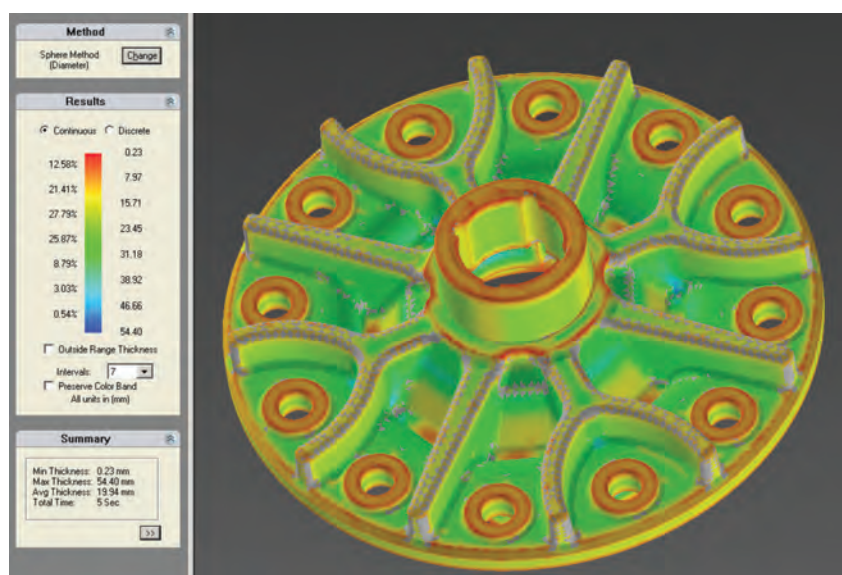


Рис. 2. Автоматизация расчета тонкостенности

Таблица 1. Экспериментальный коэффициент для интегральной оценки технологической сложности отливок

Технологический способ получения отливок	Коэффициент						
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
Автоматическая формовочная линия (АФЛ) (уплотнение воздушным потоком с последующим прессованием)	0,73	0,64	0,74	0,68	0,68	0,64	0,87
Автоматическая формовочная линия (АФЛ) (уплотнение прессованием)	1,1	1,4	1,14	0,85	1,13	1,34	0,72
Автоматическая формовочная линия (АФЛ) (уплотнение встряхиванием)	1,06	1,31	0,77	0,69	1,46	0,26	0,4
Вакуумная формовка	1,03	1,13	1,39	1,25	1,1	0,26	1,65

Суммарное количество баллов по всем группам сложности можно рассчитать по формуле:

$$C^{\Sigma} = (X1 \cdot C_T) + (X2 \cdot C_K) + (X3 \cdot C_3) + (X4 \cdot C_B) + (X5 \cdot C_M) + (X6 \cdot C_C) + (X7 \cdot C_D). \quad (2)$$

При такой оценке предлагается выделить шесть групп сложности отливок с соответствующим интервалом суммарных баллов (табл. 2).

Нами предложен следующий алгоритм построения классификатора на основе нейронных сетей.

1. Работа с данными. Составить базу данных из примеров, характерных для данной задачи.
2. Разбиение всей совокупности данных на два множества: обучающее и тестовое (возможно разбиение на три множества: обучающее, тестовое и подтверждающее).

Таблица 2. Группа сложности литых деталей

Суммарное количество баллов сложности C^{Σ}	≤ 6	Свыше 6 до 12	Свыше 12 до 16	Свыше 16 до 20	Свыше 20 до 24	Свыше 24
Группа сложности литых деталей	1	2	3	4	5	6

3. Предварительная обработка. Выбор системы признаков, характерных для данной задачи, и преобразование данных соответствующим образом для подачи на вход сети (нормировка, стандартизация и т. д.). В результате желательно получить линейно отделяемое пространство множества образцов. Выбрать систему кодирования выходных значений.

4. Конструирование, обучение и оценка качества сети.

5. Выбор топологии сети: количество слоев, число нейронов в слоях и т. д.

6. Выбор функции активации нейронов (например, «сигмоида»).

7. Выбор алгоритма обучения сети.

8. Оценка качества работы сети на основе подтверждающего множества или по иному общему критерию.

9. Оптимизировать архитектуру (уменьшение весов, прореживание пространства признаков). Остановиться на варианте сети, который обеспечивает наилучшую способность к обобщению, и оценить качество работы по тестовому множеству.

Для всех выделенных групп отливок нерешенной проблемой проектирования ЛПС является проблема создания литейных каналов с минимальным гидравлическим сопротивлением, препятствующим образованию турбулентности потоков жидкого металла (рис. 3, 4).

С этой точки зрения недостатки известных литниковых систем обусловлены сложным характером течения расплава, особенно в начале заливки. Турбулизацию потоков металла вызывают профильные каналы и угловые переходы с резким изменением векторов скоростей и ускорения расплава. Для уменьшения турбулентности важное значение имеет снижение максимальной скорости потока и выбор рациональных геометрических форм гидравлического соединения элементов литниковой системы между собой. Решение этой проблемы ранее было фактически труднодостижимым в массовом производстве отливок, поскольку плавность, обтекаемость контуров литниковых систем требуют применения сложных механообрабатывающих станков. Тем не менее, с массовым появлением в литейных цехах станков с числовым программным управлением (ЧПУ) общий подход к проектированию и изготовлению ЛПС практически не изменился. Соответственно требуется создание методики выбора и оптимизации литниковых систем, в которой будут отражены современные инструментальные возможности отделений подготовки оснастки.

После проведения общей классификации отливки расчетный коэффициент сложности (C^{Σ}) и конкретные значения по группам А–G, по нашему мнению, могут быть использованы для автоматического

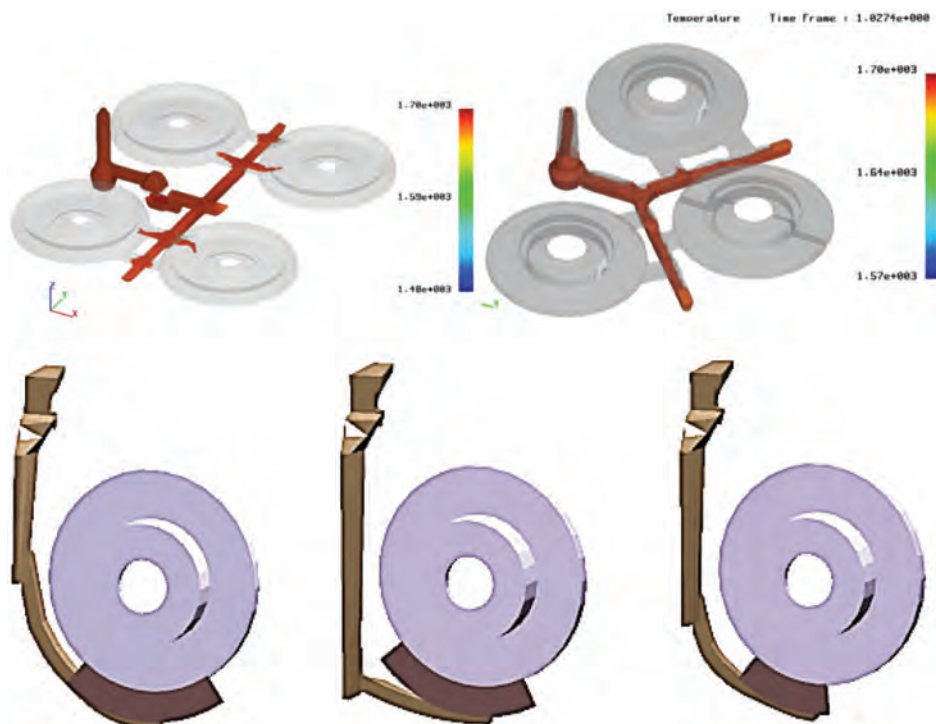


Рис. 3. Примеры литниковых систем с минимизацией турбулентности

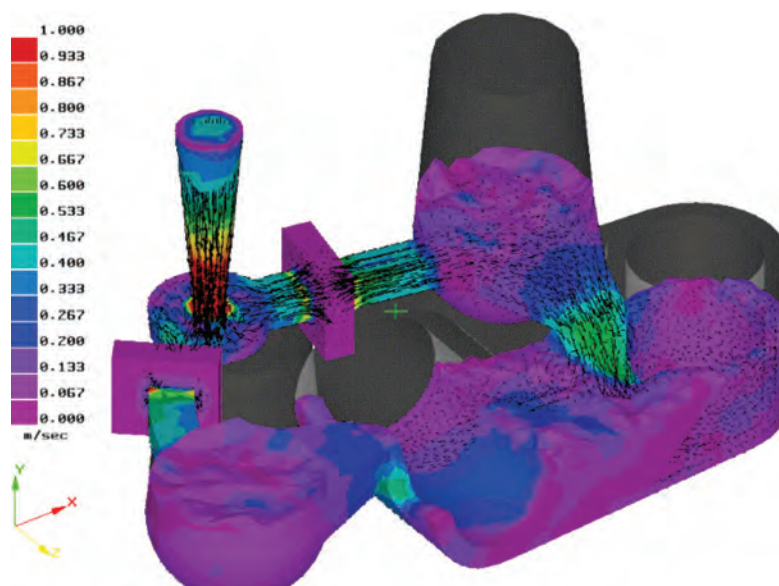


Рис. 4. Компьютерное моделирование векторной картины распределения потоков в ЛПС сложной конструкции

определения уровня проектной задачи. При этом задачи первого уровня предполагают применение классических общепринятых подходов проектирования.

Задачи второго уровня предполагают создание системы литниковых каналов с минимизацией турбулентности за счет использования геометрически гладких образующих и переходов от сечения к сечению без резких поворотов и остроугольных кромок.

Третий уровень проектирования предполагает дополнительную проработку решений по принудительной фильтрации расплава, выбору режимов улавливания шлаковых частиц и расчетом параметров межфазного взаимодействия (в гетерогенных системах типа «газ-металл», «газ-литейная форма-стержень» и т. д.). Этот уровень проектирования основан на технологии верификации проектного решения с использованием системы планирования вычислительных экспериментов, для которой используется параметризованное описание геометрии ЛПС.

Приведенные в формуле (2) коэффициенты могут быть использованы как базовые критерии для оценки:

- а) необходимой детализации проработки конфигурации элементов ЛПС;
- б) необходимого уровня верификации проекта с использованием математического моделирования динамики заполнения отливки;
- в) технологических параметров заливки и необходимого качества металла для конкретной отливки.

В качестве инструментального оформления экспертной системы для автоматического определения уровня проектной задачи может выступать комплекс из нескольких нейронных сетей [1–3], построенный по результатам обучения на опытных отливках.

Литература

1. Горбань А. Н. Решение задач нейронными сетями // Нейроинформатика. Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1998.
2. Ежов А. А., Шумский С. А. Нейрокомпьютинг и его применение в экономике и бизнесе. М.: МИФИ, 1998.
3. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польск. И. Д. Рудинского. М.: Финансы и статистика, 2002.

References

1. Gorban A. N. Reshenie zadach neironnymi setiami [The solution of problems of neural networks]. *Neuroinformatika = Neuroinformatics*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1998.
2. Ezhov A. A., Shumsky S. A. *Neirokompiuting i ego primeneniye v ekonomike i biznese* [Neurocomputing and its application in Economics and business]. Moscow, MEPhI Publ., 1998.
3. Osovski S. *Neironnye seti dya obrabotki informatsii* [Neural networks for information processing]. Moscow, Finansy i Statistika Publ., 2002.



УДК 621.74

Поступила 21.11.2017

РОЛЬ ОГНЕУПОРНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ В ПРОЦЕССАХ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ СТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЕЙ THE ROLE OF REFRACTORY FILLER IN THE PROCESSES OF STRUCTURAL FORMATION OF CORE MIXTURES

И. Б. ОДАРЧЕНКО, И. Н. ПРУСЕНКО, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, г. Гомель, Беларусь, пр. Октября, 48. E-mail: oda2009@gmail.com

I. B. ODARCHENKO, I. N. PRUSENKO, Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoj, Gomel, Belarus, 48, Oktyabrya ave. E-mail: oda2009@gmail.com

Представлены результаты исследования, компьютерного моделирования влияния формы зерна песка на формирование прочности стержневой смеси. Установлена существенная зависимость прочности литейного стержня от качественных характеристик огнеупорного наполнителя.

The results of research, computer simulation of the influence of the shape of the grain of sand on the formation of the strength of the core mixture are presented. An essential dependence of the strength of the core on the quality characteristics of the refractory filler is established.

Ключевые слова. *Литейные стержни, качество отливок, внутренние полости отливок, механическое взаимодействие металла и стержня, форма зерна огнеупорного наполнителя.*

Keywords. *Mold core, quality of castings, internal cavity of the casting, mechanical interaction of the metal and the core, refractory filler shape.*

Качество внутренних полостей отливок формируется в результате процессов, происходящих при комплексном взаимодействии материалов двух различных сред в зоне непосредственного контакта с литейным стержнем. Литейный стержень подвергается воздействию механических нагрузок, обусловленных гидродинамическим напором потоков и статическим давлением жидкого металла, находящегося в полости литейной формы, а также вследствие затрудненной усадки сплава и термических напряжений в отливке. В результате данного воздействия жидкого металла на литейный стержень существует вероятность деформирования, эрозионного разрушения его поверхности и, как следствие, изменение шероховатости, размерной точности отдельных элементов тела отливки в сравнении с заданными, образования засоров, грубой поверхности отливки, трещин. Для предупреждения развития данных дефектов литейный стержень должен представлять собой термически устойчивый объект, обладающий определенным уровнем механических свойств.

Прочностные и пластические свойства литейного стержня при контакте с жидким сплавом определяются его структурой, характеристиками и свойствами исходных компонентов стержневой смеси. Структура стержневой смеси формируется за счет образования физико-химических связей между отдельными зернами огнеупорного наполнителя. Такие связи образуются при введении связующего, обеспечивающего адгезионно-когезионную связь частиц (рис. 1).

Следует заметить, что потенциально-возможные прочностные и пластические свойства структуры стержневой смеси литейного стержня для большинства современных стержневых технологий определяются именно характером и величиной сил когезионного взаимодействия в зоне единичного контакта и удельным количеством таких контактов в заданном объеме смеси. В связи с этим процессы формирования, используемые в изготовлении литейных стержней, направлены на обеспечение оптимального уплотнения структуры стержневой смеси, соответствующей достижению требуемого количества контактов между зернами огнеупорного наполнителя через оболочку связующего.

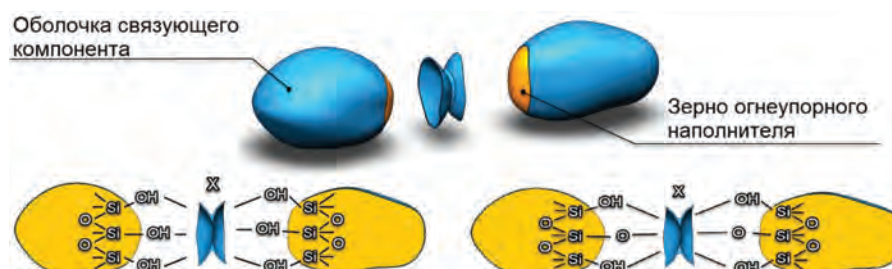


Рис. 1. Модель химического взаимодействия зерна песка со связующим компонентом в зоне единичного контакта

Известно [1], что наибольшее количество удельных контактов обеспечивает оптимально рассредоточенный зерновой состав огнеупорного наполнителя. Однако его использование вызывает ряд проблем, связанных с повышенным расходом связующего вещества, резким повышением газотворности, падением газопроводящей способности смеси и требует оптимизации. Решениям подобных оптимизационных задач уделяется достаточно много внимания, однако в большинстве случаев они связаны с подбором оптимального гранулометрического состава и минимизацией содержания глинистой составляющей. При этом качественным характеристикам огнеупорного наполнителя (форма зерен песка и характер ее распределения в зависимости от дисперсности, наличие прочно закрепленных примесей на поверхности частиц) отводится второстепенное значение. Вместе с тем, в рамках теории формирования прочности смесей эти характеристики рассматриваются как значительно влияющие на количество удельных контактов в объеме стержневой смеси.

С этой точки зрения одной из важных гранулометрических характеристик огнеупорного наполнителя является форма его зерен. Принято считать, что форма зерен песка постоянна по фракционному составу в рамках определенной марки и влияет на количество контактов в стержневой смеси, расход связующего материала. Для качественной оценки формовочных песков было проведено микроскопическое изучение их зерен в зависимости от среднего размера. При этом для исследования были использованы наиболее распространенные марки песков, применяемые на литейных предприятиях Республики Беларусь: 1K₂O₁016 (Гомельский ГОК), 2K₂O₁02 (Староверовский карьер ООО ПКФ «СТАРК»), 1K₂O₂02 (ООО «БАЛКУМ», Нижегородская обл.). В результате была установлена зависимость степени округлости зерна огнеупорного наполнителя от его величины (табл. 1).

Таблица 1. Форма зерен огнеупорных наполнителей различных месторождений

Средний размер зерен песка, мм	Форма зерна песка, %								
	1K ₂ O ₁ 016			2K ₂ O ₁ 02			1K ₂ O ₂ 02		
	округлая	полуокруглая	угловатая	округлая	полуокруглая	угловатая	округлая	полуокруглая	угловатая
1	21	52	27	24	45	31	26	44	30
0,63	20	52	28	22	44	34	24	42	34
0,4	18	50	32	21	42	37	23	39	38
0,315	15	45	40	19	40	41	20	38	42
0,2	14	42	44	16	39	45	18	36	46
0,16	12	39	49	9	32	59	14	33	53
0,1	9	33	58	5	24	71	10	27	63
0,063	4	25	71	3	19	78	5	22	73
0,05	0	15	85	0	10	90	2	16	82
Поддон	0	9	91	0	4	96	0	7	93

Качественный анализ частиц выделенного среднего размера показал, что для зерен песков фракций 1, 063, 04, 0315, 02 наиболее характерна полуокруглая окатанная форма, а для зерен более мелких фракций – преимущественно угловатая (рис. 2).

Такая закономерность характерна для всех исследуемых марок формовочных песков и данный факт необходимо учитывать при прогнозировании условий формирования прочности литейных стержней.

Для проверочной оценки влияния формы зерна огнеупорного наполнителя на прочность стержневой смеси было проведено проверочное исследование, включающее применение навесок из искусственно созданных монофракционных песков, состоящих из частиц только округлой и только угловатой формы. Зерновой состав огнеупорного наполнителя подбирали в соответствии с маркой 1K₂O₁016 Гомельского

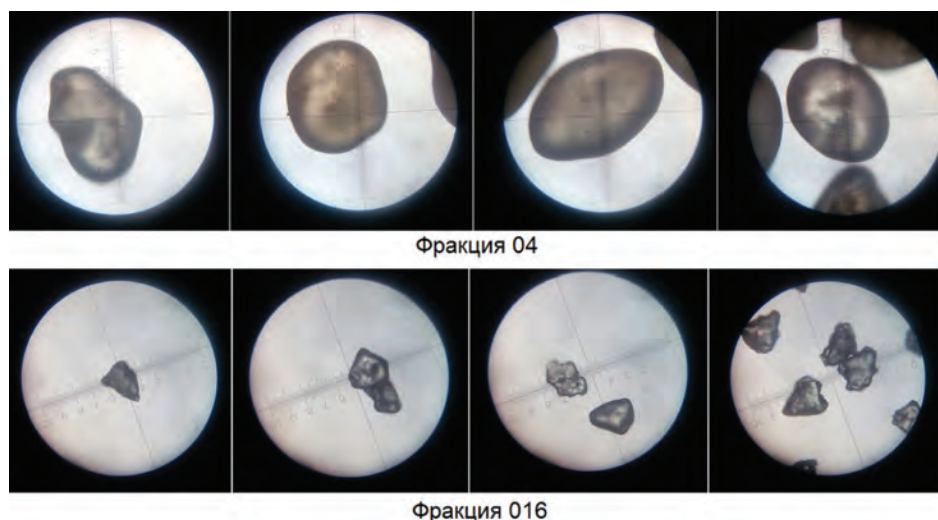


Рис. 2. Микроскопический анализ формы зерен огнеупорных наполнителей фракций 04, 016. $\times 20$

ГОК средним размером 0,2 мм, в качестве связующих компонентов использовали фурановую смолу *Askuran 381* и катализатор *Harter rapid 03*. При этом для каждого образца количество связующего материала в составе стержневой смеси строго контролировалось и составляло: смолы – 0,8%, катализатора – 0,4% на 100% массы песка. В результате проведенного исследования было установлено, что прочность образцов с округлой формой зерен заметно уступает прочности образцов с угловатой (табл. 2).

Т а б л и ц а 2. Прочность образцов в зависимости от формы зерен песка

Форма зерна песка, из которого изготовлен образец	Прочность на разрыв через 1 ч, кПа					Среднее значение	Прочность на разрыв через 24 ч, кПа					Среднее значение
	277	278	281	274	276		439	445	443	447	442	
Угловатая	277	278	281	274	276	277	439	445	443	447	442	443
Округлая	254	248	245	247	250	249	385	387	385	392	390	388

Микроскопический анализ показал, что зерна песка угловатой формы в сравнении с округлыми характеризуются более плотным прилеганием друг к другу при уплотнении, в виду этого увеличивается площадь контакта манжеты связующего с зернами песка, что приводит к более высокой прочности стержневой смеси.

Данный вывод полностью согласуется с результатами компьютерного моделирования структуры стержневой смеси в CAD- и CAE-программах. Анализ структурообразования стержневой смеси при ее уплотнении позволил установить общее количество контактов зерен огнеупорного наполнителя в заданном объеме стержневой смеси. Для моделирования структуры стержневой смеси были разработаны трехмерные модели зерен песка округлой и угловатой форм четырех фракций (01, 016, 02, 04) (рис. 3).

Генерированием частиц огнеупорного наполнителя заданной формы и среднего размера имитировался процесс заполнения виртуальной емкости объемом 1 см³, в результате чего были сформированы трехмерные модели структуры стержневой смеси (рис. 4, а, б).

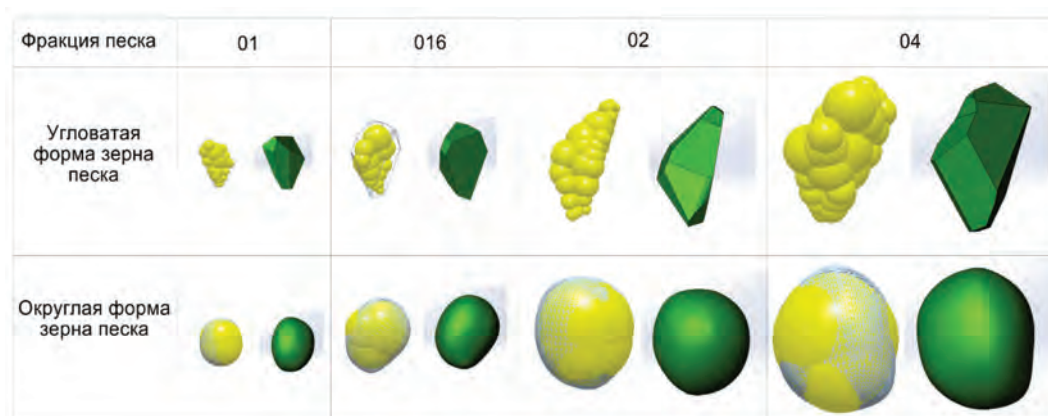


Рис. 3. Трехмерные модели зерен песка



Рис. 4. Фрагменты моделей стержневой смеси в уплотненном состоянии зерен песка фракции 02: *а* – с применением угловатых зерен песка; *б* – с применением округлых зерен песка

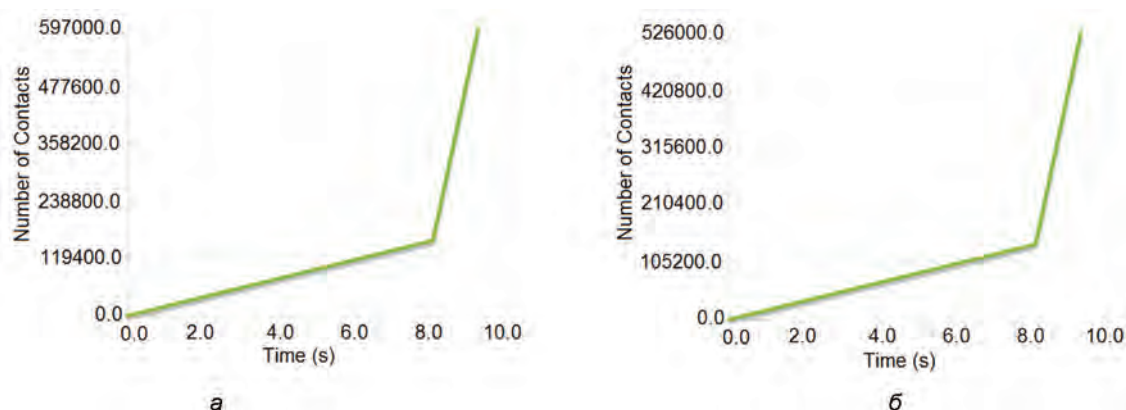


Рис. 5. Зависимость количества реализуемых контактов между частицами округлой и угловатой формы формовочного песка средним размером 0,2 мм от времени: *а* – частицы угловатой формы; *б* – частицы округлой формы

При этом моделировалась динамика изменения количества контактов во времени. В каждом исследовании заданный объем смеси формировался в течение 8 с, после чего подвергался воздействию сил прессования до плотности смеси 1,45 г/см³. Подсчет числа контактов осуществлялся с применением контактных векторов (рис. 4, б) между частицами песка (рис. 5).

В результате проведенных исследований было установлено, что для частиц песка угловатой формы характерно большее количество реализованных контактов в единице объема уплотненной смеси в сравнении с частицами округлой формы. При этом следует заметить, что с уменьшением удельной поверхности частиц количество реализованных контактов уменьшается (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. Концентрация контактов в единице объема стержневой смеси

Средний размер зерен песка, мм	01	016	02	04
Концентрация контактов в объеме стержневой смеси для частиц угловатой формы, шт/см ³	4001000	1211000	597000	79000
Концентрация контактов в объеме стержневой смеси для частиц округлой формы, шт/см ³	3958000	1134000	526000	64000

Необходимо отметить, что угловатая форма зерна песка характеризуется большей удельной поверхностью их контактов друг с другом, однако характеризуется низкой пористостью и, следовательно, газопроницаемостью смеси, изготовленной с применением данного песка.

Кроме того, следует учитывать, что для зерен угловатой формы более характерна шершавая поверхность, часто покрытая оболочкой другого вещества (глинистая составляющая и низкоогнеупорные примеси), что оказывает существенное влияние на формирование прочности сцепления связующего вещества между зёрнами огнеупорного наполнителя. Исследования показали, что примесные минералы блокируют контакт зерна песка со связующим, что влияет главным образом на формирование адгезионной прочности, однако в виду преобладающего когезионного характера разрушения образцов из химически твердеющих смесей это не имеет принципиального значения. При этом надо понимать, что наличие глинистой составляющей и низкоогнеупорных примесей в составе стержневой смеси приводит к увеличению связующего компонента и является одной из причин образования пригара на внутренних поверхностях отливки.

Проведенный анализ позволяет установить существенную зависимость прочности литейного стержня от качественных характеристик огнеупорного наполнителя и, тем самым, расширяет возможности ее регулирования. Для стабилизированного протекания процессов механического взаимодействия расплава и литейного стержня гранулометрический состав огнеупорного наполнителя должен подбираться не только с учетом размера, характера распределения зерен песка, но и с учетом формы и характера поверхности частиц. Данный подход необходим для формирования структуры стержневой смеси, обеспечивающей стойкость к деформациям, и возникновения механических напряжений при контакте с расплавом.

Литература

1. Бречко А. А. Формовочные и стержневые смеси с заданными свойствами / А. А. Бречко, Г. Ф. Великанов. Л.: Машиностроение, 1982. 216 с.

References

1. Brechko A. A., Velikanov G. F. *Formovochnye i sterzhnevye smesi s zadannymi svojstvami* [Molding and core mixtures with desired properties]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1982. 216 p.



УДК 669.54.85 + 621.745.58

Поступила 20.11.2017

ПЕРЕРАБОТКА СТРУЖКИ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ

RECYCLING OF FERROUS METAL SHAVINGS

С. Л. РОВИН, УП «Технолит», г. Минск, Беларусь, ул. Я. Коласа, 24. E-mail: technolit@tut.by
Л. Е. РОВИН, Т. М. ЗАЯЦ, О. М. ВАЛИЦКАЯ, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, г. Гомель, Беларусь, пр. Октября, 48. E-mail: kaf_metallurgy@gstu.by

S. L. ROVIN, Technolit Co, Minsk, Belarus, 24, Kolasa str. E-mail: technolit@tut.by
L. E. ROVIN, T. M. ZAYAC, O. M. VALICKAYA, Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoj, Gomel, Belarus, 48, Ochyabrya ave. E-mail: kaf_metallurgy@gstu.by

Наиболее перспективным и универсальным способом рециклинга стружки черных металлов является технология прямой переплавки стружки в ротационных наклоняющихся печах (РНП) непосредственно на предприятиях-источниках образования этих отходов. Однако сложившаяся практика переработки чугунной и стальной стружки базируется на ее брикетировании и последующей переплавке в традиционных печах.

Для сокращения затрат при брикетировании стружки и организации участков горячего брикетирования в местах ее образования предлагается использовать высокоэффективное оборудование – ротационные сушила и РНП. Обосновывается возможность и эффективность использования разработанных печей для низко- и высокотемпературного нагрева стружки в линиях брикетирования. Термический КПД таких печей при нагреве дисперсных материалов значительно выше барабанных или проходных печей. При брикетировании горячей стружки снижается усилие прессования, что также сокращает удельные энергозатраты. Применение РНП позволяет сократить номенклатуру технологических операций и оборудования участков изготовления брикетов.

The most advanced and universal way of chips recycling of ferrous metals is the technology of direct chips remelting in rotational tilting furnaces (RBF) directly at the enterprises-sources of waste generation. However common practice of iron and steel chips recycling is based on its briquetting and subsequent remelting in traditional furnaces.

For cost reduction when chip briquetting and organization of hot briquetting sections in places of its formation highly efficient equipment – rotational dryer and RBF is proposed. The possibility and effectiveness of developed furnaces for low- and high-temperature chip heating in briquetting lines is proved. Thermal efficiency of such furnaces when dispersed materials heating is much higher than drum or feed-through furnaces. Hot briquetting of shavings reduces the pressing force, which reduces the specific energy consumption. The use of rotary kilns can reduce technological operations and equipment of production sites for the manufacture of briquettes.

Ключевые слова. Стружка черных металлов, брикетирование, ротационная печь, рециклинг.

Keywords. Ferrous metal shavings, briquetting, rotary furnace, recycling.

Возрастающее накопление металлоотходов, в том числе металлической стружки, удорожание энергоресурсов, ужесточение природоохранных требований приводят к необходимости поиска экономичных и эффективных способов ее переработки (рециклинга) [1–3].

По ориентировочным оценкам, вновь образующиеся дисперсные металлоотходы только в Беларуси составляют 250–300 тыс. т в год. В отвалах нашей страны на сегодняшний день накоплено по некоторым оценкам около 8 млн. т различных, в большей мере сильно окисленных металлоотходов (рис. 1).

Доля стружки черных металлов, которая используется и перерабатывается в Беларуси, по оценкам специалистов, не превышает 60%.

Специфика этой проблемы обусловлена наличием большого количества предприятий-источников подобных отходов, что увеличивает затраты и трудности со сбором, транспортировкой, хранением, унификацией по видам и химическому составу и соответственно осложняет переработку и повторное использование стружки. Продавать стружку за рубеж, а затем покупать первичные (доменные) шихтовые материалы, что и происходит в настоящее время экономически невыгодно.



Рис. 1. Примерное распределение стружки по видам сплавов: первая цифра – количество образующейся за год стружки, тыс. т; вторая цифра – %

Характеристики стружки как продукта обработки материалов резанием изучены в сравнении с другими видами металлоотходов значительно полнее, но, тем не менее, с точки зрения решения задачи ее рециклинга в исходном неокускованном виде имеющихся сведений недостаточно, особенно в части поведения стружки при нагреве в ротационных печах, при взаимодействии с дисперсными восстановителями и при многостадийном прессовании.

Так, химический состав стружки обычно указывается как идентичный обрабатываемому металлу. Однако при обработке стружка, особенно поверхностные слои, подвергается окислению и обезуглероживанию, а при сборе металлоотходов происходит неизбежное смешивание различных марок сплавов (рис. 2).

Активное окисление стружки и загрязнение продолжаются и в процессе многочисленных перевалок и хранения. В исходном состоянии стружка имеет высокое содержание влаги, СОЖ и масел (от 3–5 до 8–10%). Таким образом, стружка, поступающая на переработку, имеет неопределенный состав и значительное количество неметаллических примесей. Технология рециклинга должна быть адаптирована к такому положению.

Форма частиц произвольная, тем не менее, для дробленой и пластинчатой стружки коэффициент формы (f_{ϕ}) можно считать равным 1,3–2,75 для мелкой и от 2,45 до 7,5 для крупной фракций. Собственно дисперсной в исходном состоянии является лишь хрупкая чугунная стружка, обычно она имеет форму пластинок (чешуек) толщиной 0,1–1,0 мм и длиной от 1–3 до ~ 10 мм и более. При перегрузках чешуйки ломаются и кажущаяся дисперсность возрастает с $l_{50} \approx 5-8$ до $l_{50} \approx 2-3$ мм (здесь l_{50} – наибольший медианный размер). Стальная стружка, как правило, сливная спиралевидная или суставчатая, перед всеми видами переработки требует предварительного дробления, технология и техника которого достаточно хорошо отработаны. В этом случае о дисперсности можно судить по материалам, полученным после дробления. Как правило, это чешуйки или «полоски» длиной до 10–15 мм с включениями меньших фракций.

Дисперсность стружки наиболее наглядно можно показать на логарифмически-вероятностной шкале координат. На рис. 3 приведены типичные образцы чугунной и стальной стружки, каждый из которых



Рис. 2. Стружка в местах сбора

является смесью продуктов обработки на разных станках и при различных режимах, что характерно для существующей системы сбора стружки, особенно в масштабах страны. Нормальное распределение фракций, характерное для монопроцесса обработки, на данной диаграмме представлялось бы прямой линией.

Угол естественного откоса α_0 стружки, не прошедшей обработку, может составлять от 34 до 52°. Это зависит от многих факторов, в том числе от загрязненности и фракционного состава стружки.

Образцы смешанной стальной стружки, образующейся на одном и том же машиностроительном предприятии, имели насыпную плотность 525; 1155; 834; 579; 1239 кг/м³ (указаны средние значения по 10 замерам в каждой партии). При этом стружка не проходила предварительной обработки и не подвергалась длительному вылеживанию. При длительном хранении стружки на площадках и в отвалах насыпная плотность увеличивается до 1700–1900 кг/м³, возрастает окисленность, уменьшается содержание масел, увеличивается количество дефектов поверхности и структуры. Стружка, как правило, содержит значительное количество оксидов: чугунная – до 0,5%, стальная – 2–10%. При длительном хранении стружки особенно на открытых площадках в отвалах окисленность стружки сильно возрастает, вплоть до полного окисления. При этом оксиды стальной стружки изначально располагаются в основном в поверхностном слое толщиной 0,05–0,1 мм, в чугунной – по всей толщине. Это объясняется наличием большого количества дефектов в чугунной стружке. Поверхность чугунной стружки ($\delta = 0\text{--}0,2$ мм) содержит на 10–15% меньше углерода (графита), что возможно связано с механической обработкой и выкрашиванием графитовых включений.

Требования по содержанию примесей в соответствии с СТБ 2026–2010 трудно выполнимы для организаций-поставщиков, сдающих металлоотходы без их предварительной подготовки.

Количество масла в стружке при сходе ее со станков составляет примерно 30% от массы стружки. При транспортировании и хранении стружки количество масла уменьшается до 8–10%. Учитывая большое количество смазочно-охлаждающей жидкости в исходной стружке, необходимы определенные меры при ее хранении. Для предотвращения загрязнения грунтовых вод стружка должна храниться в герметичных контейнерах, установленных на гидроизолированных площадках. При транспортировании такой стружки загрязняются дороги, вагоны, складские платформы и безвозвратно теряется значительное количество масла. Автоперевозки в контейнерах – самый дорогостоящий способ транспортировки.

Объемная масса стружки в 3–4 раза меньше плотности кускового лома. Поэтому для сбора и транспортирования стружки требуется специальная тара больших размеров, занимающая значительное место в цехе. Все это приводит к повышению затрат на хранение и транспортировку. В состав загрязняющих стружку СОЖ входят растворы электролитов, мыла, минеральные, животные и растительные масла с добавками фосфора, серы и хлора (сульфофрезолы), керосин, растворы ПАВ, масла и эмульсии с добавками твердых смазывающих веществ (графита, парафина, воска и др.). Это ухудшает брикетирование и резко снижает металлургическую ценность полученных брикетов. Наличие масла в стружке увеличивает содержание серы в выплавляемых стали и чугуне. При сгорании органических примесей в печи образуются тугоплавкие зольные остатки, что увеличивает содержание неметаллических включений. При разложении влаги и углеводородов металл насыщается водородом, увеличивается количество флокенов, волосовин и микротрещин при последующей обработке металла. Выбросы испаряющихся масел и продуктов деструкции органики, которые образуются при нагреве стружки перед брикетированием, загрязняют окружающую среду [1, 2].

Прямое использование дешевой низкокачественной шихты – стружки россыпью в существующих плавильных печах литейных цехов (даже при небольших добавках) приводит к снижению всех технико-экономических показателей плавки и превосходит выгоду от снижения стоимости шихты. Аналогичные результаты получают и электрометаллургические предприятия. Проведенные исследования выявили

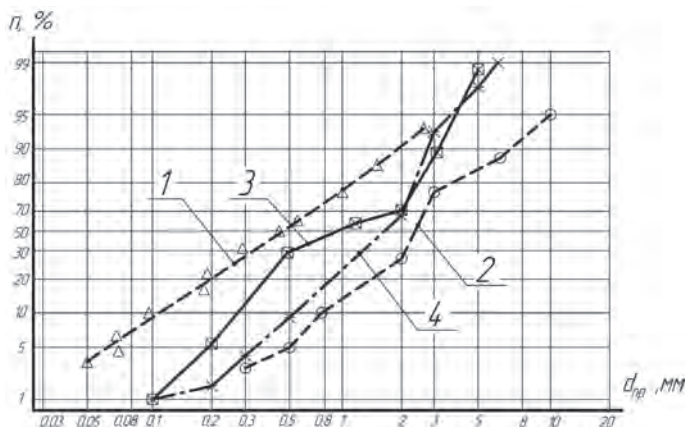


Рис. 3. Дисперсный состав стружки: 1 – чугунная стружка после нагрева в ротационной наклоняющейся печи (РНП) до 700–800 °С; 2 – чугунная крупная стружка (строгание, обдирка, грубая механическая обработка); 3 – чугунная и стальная мелкая стружка (чистовая обработка); 4 – чугунная и стальная смешанная стружка

значительный до 30–50% угар стружки и ухудшение технических показателей работы сталеплавильных дуговых печей [4].

Исследования, выполненные в последние годы специалистами УП «Технолит» и УО ГГТУ им. П. О. Сухого, позволяют сделать вывод о том, что наиболее перспективным и универсальным способом рециклинга дисперсных металлоотходов, к которым относится и стружка черных металлов, является технология прямой, т. е. без предварительной подготовки, переплавки стружки в ротационных наклоняющихся печах (РНП) непосредственно на предприятиях-источниках образования этих отходов.

Этот тип плавильных агрегатов позволяет перерабатывать любое низкокачественное дисперсное сырье и при любой степени загрязнения (чем больше масел, тем лучше – ниже удельный расход топлива). Нагрев и массообмен осуществляются в динамическом продуваемом слое. Ротационные печи компактны и удобны в эксплуатации. Благодаря возможности качания (наклона вокруг горизонтальной оси) в ротационные печи легко загрузить шихту, выгрузить нагретую до 700–800 °С стружку или расплавить и слить жидкий расплав, если не используется дуплекс-процесс «РНП-ИЧТ». Полезная емкость подобных печей лимитируется только технологическими потребностями и может варьироваться от 0,5 до 20 т [5].

Однако до настоящего времени сложившаяся практика переработки чугуновой и стальной стружки базируется на ее брикетировании и последующей переплавке в традиционных агрегатах – вагранках, электродуговых и индукционных печах.

Наиболее широко применяется холодное брикетирование, включающее ряд стадий: дробление (для витой стружки), очистку от влаги, масел и СОЖ (промывка, центрифугирование и сушка), дозирование, введение добавок (связующих и восстановителей), прессование [2, 3].

Для обезжиривания (удаления влаги, СОЖ, масел) металлической стружки перед холодным брикетированием обычно применяют следующие способы: центрифугирование, промывку стружки горячей водой или щелочным раствором в специальных моечных машинах, обжиг стружки в различных нагревательных печах, где органические примеси испаряются и выгорают.

Влажную стружку нельзя использовать на литейных предприятиях, во избежание взрывов (хлопков) при попадании влажных материалов в жидкий металл, особенно опасна такая ситуация в холодное время года, когда влага превращается в лед.

Сушка металлической стружки на предприятиях, как правило, проводится при температурах 250–350 °С. Сушка – энергоемкий и длительный процесс, особенно применительно к дисперсным материалам из-за низкой теплопроводности слоя. Нагрев слоя в печах камерного, проходного типа происходит при граничных условиях первого рода. При высоких градиентах температур по толщине слоя, коэффициенте теплопроводности до 0,2 Вт/(м·К) и объемном коэффициенте передачи тепла 35–40 Вт/(м³·К) нагрев происходит медленно. Коэффициент полезного действия таких печей находится в пределах 5–7%. На нагрев стружки до 250 °С затраты составляют более 1000 МДж/т или более 35 м³/т природного газа. Определенные трудности представляют такие печи и при загрузке-выгрузке.

Более высокий КПД при нагреве дисперсных материалов обеспечивают печи, работающие с динамическим слоем: барабанные, ротационные, печи с псевдоожиженным слоем и др. Важнейшее преимущество этих печей – интенсификация теплообмена за счет резкого повышения эффективности передачи тепла конвекцией в динамическом слое (1,2–2,5 кВт/(м³·К)). Термический КПД этих печей составляет 20–25%. Однако такая эффективность достигается при достаточной длительности пребывания газов-теплоносителей в печи, т. е. при большой длине печи (15–20 м), при соотношениях длины и диаметра 10–15 крат и более. Соответственно такие печи обычно рассчитаны на переработку больших объемов материала и непрерывную работу и не позволяют осуществлять децентрализованную рентабельную переработку стружки в небольших количествах.

Учитывая это, было принято решение исследовать работу ротационных сушил и нагревательных печей с целью изыскания возможности повысить их эффективность и снизить удельные затраты топлива.

В результате исследований были разработаны рекомендации для новых конструкций печей, позволяющих практически вдвое повысить КПД при малотоннажном нагреве дисперсных материалов [6–9].

Применение новых печей (сушил) позволяет снизить эксплуатационные расходы, сократить занимаемые площади и главное повысить производственную гибкость рециклинга металлоотходов. Переработку в таких установках можно производить без накопления значительных объемов стружки по мере ее образования. Пример подобного решения представлен на рис. 4.

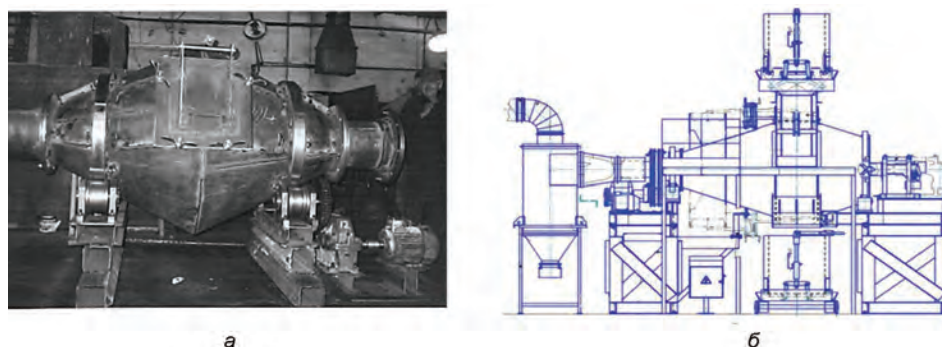


Рис. 4. Двухконусное ротационное сушило периодического действия: *а* – сушило емкостью 0,5 т; *б* – схема установки с устройствами загрузки-выгрузки



Рис. 5. Брикеты холодного прессования: *а* – брикеты из смешанной стружки; *б* – разрушение брикетов при перегрузках

Холодное брикетирование, как правило, осуществляют в закрытых матрицах без каких-либо связующих. Для получения плотного брикета из стальной стружки необходимо создать в пресс-камере (матрице) пресса давление более 2500 кгс/см^2 , а для окускования чугуновой стружки – более $3500\text{--}4500 \text{ кгс/см}^2$. Тем не менее, достигаемая плотность не превышает $5,0\text{--}5,5 \text{ кг/см}^3$, что почти в 1,5 раза ниже плотности металла, кроме того, холодные брикеты имеют низкую механическую прочность, из-за чего легко разрушаются в процессе транспортировки и загрузки. Из-за остатков в брикете эмульсии и влаги (до 1,5–2%) и большой площади активной поверхности, в 5–6 раз превышающей поверхность монолита, брикеты подвергаются интенсивной коррозии, в 4–8 раз превышающей скорость коррозии монолитного металла. Недостаточная плотность брикетов является причиной того, что окислительные газы проникают внутрь брикета и, тем самым, увеличивают степень окисленности металла (рис. 5).

Брикетирование стружки в холодном состоянии не решает проблему ее использования. Экономические показатели работы плавильных агрегатов при применении брикета из стружки мало чем отличаются от плавления стружки россыпью (рис. 6). Брикетирование в основном преследует цель улучшить условия транспортировки, погрузочно-разгрузочных работ и хранения стружки, и частично снижает содержание масла и эмульсии в шихте.

Избавиться от остатков масел, воды и добиться повышения плотности брикета более 6000 кг/м^3 возможно лишь при горячем прессовании.

В настоящее время горячее брикетирование, как правило, осуществляется в две стадии: предварительное прессование дробленой очищенной (в том числе с проведением сушки при $250\text{--}350^\circ\text{C}$) или неочищенной стружки, затем нагрев брикетов до температуры $650\text{--}750^\circ\text{C}$ и повторное прессование.

Горячее брикетирование позволяет улучшить качество брикетов, но делает их значительно дороже, что сводит к минимуму экономический эффект.

Цены на холодные брикеты из стальной и чугуновой стружки в 2,0–2,5 раза выше, чем стружки россыпью, а горячие брикеты еще в 2–3 раза дороже холодных.



Рис. 6. Эффективность использования холоднопрессованных брикетов при плавке

Основную долю в себестоимости горячих и холодных брикетов составляют энергозатраты, идущие на нагрев стружки. Линии брикетирования занимают большие производственные площади, имеют низкий КПД. При этом предъявляются высокие требования к подготовке стружки перед прессованием, в том числе ее сушке.

В ряде работ указывается в качестве оптимального интервала нагрев стружки до 650–700 °С [2, 3]. Причем обосновывается эта величина началом интенсивного окисления металла.

Наши исследования нагрева стружки в динамических слоях показали, что скорость окисления наибольшая в интервале 400–600 °С и замедляется при дальнейшем повышении температуры, что можно объяснить тормозящим влиянием образующегося слоя оксидов. При интенсивном нагреве в РНП до 800–850 °С окисление металла составляет не более 0,3–0,5%, что меньше чем в традиционных печах при нагреве до 450 °С, и не может служить ограничивающим фактором.

Более рациональным является уровень нагрева вплоть до ~850 °С, который ограничен температурами начала «сваривания» частиц. Нагрев при этом должен осуществляться до температур пластической деформации. При этом плотность полученного брикета и его качество как шихтового материала будут приближаться к плотному металлу.

Подобные идеи – осуществление горячего брикетирования в одну стадию выдвигались неоднократно. Однако процесс во всех случаях трудно поддавался реализации, как представляется, в основном из-за отсутствия эффективного оборудования для безокислительного высокотемпературного нагрева полидисперсного материала.

Агрегатом, позволяющим обеспечить высокоэффективный нагрев дисперсных материалов, в том числе стружки, является новый тип печей – ротационные печи с наклоняющейся осью вращения, в которых обеспечивается петлеобразное движение газов (РНП) (рис. 7). Высокая эффективность РНП, производственная гибкость и компактность, возможность осуществлять нагрев стружки без потерь на угар до температур 800–850 °С позволяют перейти к одностадийному прессованию при брикетировании. В этом случае весь процесс сводится к сбору, при необходимости – дроблению, высокотемпературному нагреву в РНП и прессованию горячей стружки.

Преимущества РНП здесь очевидны. Они дают возможность быстро и качественно нагревать любую неподготовленную (за исключением витой стружки), загрязненную, замасленную (без ограничений) стружку при минимальных затратах топлива до максимальных температур. Немаловажным преимуществом является возможность без всяких перестроек обрабатывать в печи различную по составу стружку, например, стальную, чугунную, легированную и т. п.

Термический КПД при нагреве дисперсных материалов (стружки, окалины, шлама и т. д.) достигает 50–55%, что в 2–3 раза превышает КПД традиционных печей. РНП обеспечивает почти 2-кратное увеличение производительности и сокращение времени нагрева и в 2–3 раза меньшие затраты времени на операции завалки-разгрузки. Нагрев стружки в печи емкостью 2–4 т осуществляется в течение 12–20 мин при расходе 8–12 м³ природного газа на 1 т. Причем меньшие цифры относятся к наиболее загрязненной маслами стружке.

При нагреве в РНП в динамическом слое до температур 700–800 °С стружка значительно меняет свои свойства. Полностью теряются влага, масла и СОЖ, соответственно изменяются адгезионные и когезионные характеристики и поведение материала в слое – угол естественного откоса снижается до 28–30°. В результате нагрева в РНП в течение 20–25 мин при указанной температуре дисперсность чугунной стружки увеличивается в 2–3 раза (см. рис. 3, 8). Стальная стружка имеет существенно большую прочность и меньшую хрупкость: после часовой обработки в ротационной печи при тех же режимах степень измельчения стальной дробленой стружки не превысила 10–15%. Из-за снижения адгезионных свойств

горячая стружка при выгрузке течет подобно жидкости. Значительно, в 1,5–2,3 раза (в зависимости от материала) повышается насыпная плотность стружки, что имеет большое значение при последующем прессовании.

Затраты энергии при брикетировании стружки состоят из расходов на нагрев и механическую работу собственно прессования [11].

С учетом снижения сил внешнего трения (при термообработке в РНП адгезия стружки снижается в 2–3 раза) можно принять, что величина работы прес-

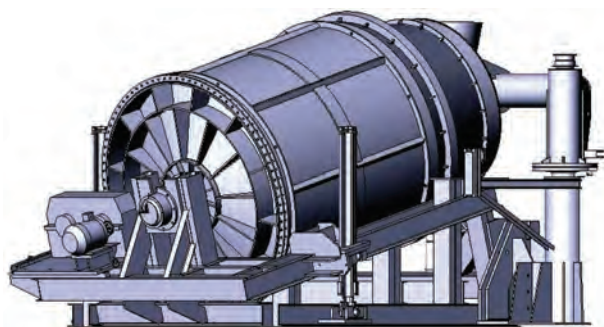


Рис. 7. Ротационная наклоняющаяся печь (РНП)



Рис. 8. Стружка до и после нагрева

сования будет примерно равна работе идеального процесса при достижении максимальной относительной плотности $\nu = 1$:

$$A_{p.k} = \frac{p_k S_n h_k \beta_0}{(\beta_0^n - 1)} \left[\frac{1}{h-1} (\beta_0^{n-1}) - \frac{\beta_0 - 1}{\beta_0} \right],$$

где p_k – нормальное давление контакта; S_n , h_k – соответственно площадь и высота прессовки (брикета); β_0 – относительный объем брикета.

Данное упрощение вполне допустимо, так как снижение твердости и прочности материала в 2,0–2,5 раза при максимальных температурах нагрева позволяют получить относительный объем и плотность прессовки, соответственно β_0 и ν , более 0,9.

Величина n зависит от механических свойств материала, насыпной плотности, адгезионных свойств и особенностей прессования, в том числе соотношения диаметра и высоты прессовки (брикета). Для условий брикетирования $n = 2,7–3,2$.

Сравнивая затраты энергии на холодное и горячее прессование, необходимо учесть, что в первом случае при идентичных давлениях (300–350 МПа) пластическая деформация частиц практически не развивается, что и объясняет недостаточную прочность и осыпаемость брикета.

В результате прессования стружки в горячем состоянии (750–800 °С) при сохранении величины давления в пределах 300–350 МПа относительная плотность брикета достигает величины $\nu = 0,91–0,93$ и более, при этом абсолютная плотность возрастает до 7250 кг/м³ (для стальной стружки). Соответственно уменьшается пористость брикета, возрастают теплопроводность и прочность (62,3–78,2 МПа), что немало важно при переплавке и транспортировке. Несколько меньше плотность брикетов из чугуновой стружки (до 6500 кг/м³), однако прочность, устойчивость против ударов и другие параметры также повышаются.

Работа прессования горячей стружки уменьшается по сравнению с холодным процессом примерно в 2,0 раза и более и составляет 32 000–57 000 кДж на 1 т брикетов размером 120–150 мм в диаметре и высотой 50–60 мм. С учетом КПД это эквивалентно 22–38 кВт·ч/т против 45–80 кВт·ч/т при холодном прессовании. На нагрев 1 т стружки расходуется в среднем ~ 10 м³ газа (в эквиваленте 100 кВт·ч) или при работе на неочищенной стружке – 8 м³/т против 19–25 м³/т при использовании традиционного оборудования.

Таким образом, ликвидация технологических операций (центрифугирование, сушка (нагрев до 250°), первая стадия прессования до $\nu = 0,3–0,6$) при использовании печей РНП (нагрев стружки до $t = 750–850$ °С) и переход к одностадийному прессованию позволяют получить более качественный плотный брикет не только не увеличивая энергозатраты, но даже снизив их в среднем на 120–180 кВт·ч на 1 т стружки черных металлов.

При сохранении холодного прессования, но с использованием ротационных сушил и ликвидацией центрифугирования (в качестве первого малозатратного этапа модернизации) сокращение энергозатрат составит около 50–60 кВт·ч на 1 т брикета.

Немаловажными преимуществами нового оборудования являются производственная гибкость и малая потребность в площадях. На базе нового оборудования возможен переход к рентабельному децентрализованному рециклингу – переработке металлоотходов на предприятиях-источниках и отказ от дорогостоящей логистической системы сбора в масштабах страны.

Литература

1. Дьяконов О. М. Комплексная переработка стружки и металлосодержащих шламов / О. М. Дьяконов. Минск: Технология, 2012. 262 с.

2. **Гарост А. И.** Использование замасленной чугунной стружки для замены дорогостоящего дефицитного лома / А. И. Гарост // *Литье и металлургия*. 2012. № 2. С. 17–26.
3. **Стеблов А. Б., Герман М. Л.** Переработка стружки черных металлов / А. Б. Стеблов, М. Л. Герман // *Рынок вторичных металлов*. 2007. № 1/39. С. 46–49.
4. **Терлецкий С. В.** О некоторых проблемах переработки стружки в современных дуговых сталеплавильных печах / С. В. Терлецкий // *Литье и металлургия*. 2005. № 3. С. 76–78.
5. **Ровин С. Л.** Рециклинг металлоотходов в ротационных печах / С. Л. Ровин. Минск: БНТУ, 2015. 382 с.
6. Ротационная установка для термообработки и плавки дисперсных и кусковых материалов: пат.1424 Респ. Беларусь, МПК F27B 7/00 / Л. Е. Ровин, О. М. Валицкая, С. Л. Ровин.
7. Ротационная качающаяся установка для термообработки и плавки дисперсных и кусковых материалов: пат.1732 Респ. Беларусь, МПК F27B 7/00 / Л. Е. Ровин, О. М. Валицкая, С. Л. Ровин.
8. Ротационная установка для термообработки и сушки дисперсных и кусковых материалов: пат.2428 Респ. Беларусь, МПК F27B 7/00 / Л. Е. Ровин, О. М. Валицкая, С. Л. Ровин.
9. Ротационная установка для плавки дисперсных и кусковых материалов: пат.2770 Респ. Беларусь, МПК F27B 7/00 / Л. Е. Ровин, О. М. Валицкая, С. Л. Ровин.
10. **Ровин С. Л., Матюшенко В. М., Валицкая О. М.** Чугунная стружка как шихтовой материал / С. Л. Ровин и др. // *Литье и металлургия*. 2008. № 3. С. 158–161.
11. **Жданович Г. М.** Теория прессования металлических порошков / Г. М. Жданович. М: Металлургия, 1969. 264 с.

References

1. **Dyakonov O. M.** *Kompleksnaya pererabotka struzhki i metallosoderzhashchih shlamov* [Complex processing of metal shavings and sludge]. Minsk, Tekhnologiya Publ., 2012, 262 p.
2. **Garost A. I.** Ispol'zovanie zamaslennoy chugunnoy struzhki dlya zameny doryogostoyashchego deficitnogo loma [The use of oily cast iron chips to replace the expensive scarce scrap]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2012, no. 2, pp. 17–26.
3. **Steblov A. B., German M. L.** Pererabotka struzhki chernyh metallov [Processing of ferrous metal shavings]. *Rynok vtorichnykh metallov = Secondary market*, 2007, no. 1/39, pp. 46–49.
4. **Terleckiy S. V.** O nekotorykh problemakh pererabotki struzhki v sovremennykh dugovykh staleplavil'nykh pechah [Some problems of processing chips in modern arc steel-melting furnaces]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2005, no. 3, pp. 76–78.
5. **Rovin S. L.** *Recikling metalloothodov v rotacionnykh pechah* [Recycling of metal wastes in rotary furnaces]. Minsk, BNTU Publ., 2015, 382 p.
6. **Rovin L. E., Valickaya O. M., Rovin S. L.** *Rotacionnaya ustanovka dlya termoobrabotki i plavki dispersnykh i kuskovykh materialov* [Rotary device for heat treatment and melting of the dispersed and bulk materials]. Patent RB, no. 1424, MPK F27B 7/00.
7. **Rovin L. E., Valickaya O. M., Rovin S. L.** *Rotacionnaya kachayushchayasya ustanovka dlya termoobrabotki i plavki dispersnykh i kuskovykh materialov* [Rotary tilting device for heat treatment and melting of the dispersed and bulk materials]. Patent RB, no. 1732, MPK F27B 7/00 /.
8. **Rovin L. E., Valickaya O. M., Rovin S. L.** *Rotacionnaya ustanovka dlya termoobrabotki i sushki dispersnykh i kuskovykh materialov* [The rotary device for heat treatment and drying of dispersed and bulk materials]. Patent RB, no. 2428, MPK F27B 7/00.
9. **Rovin L. E., Valickaya O. M., Rovin S. L.** *Rotacionnaya ustanovka dlya plavki dispersnykh i kuskovykh materialov* [Rotary device for melting dispersed and bulk materials]. Patent RB, no. 2770, MPK F27B 7/00.
10. **Rovin S. L., Matyushenko V. M., Valickaya O. M.** Chugunnaya struzhka kak shihtovoy material [The use of iron shavings as charge]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2008, no. 3, pp. 158–161.
11. **Zhdanovich G. M.** *Teoriya pressovaniya metallicheskih poroshkov* [Theory of pressing of metal powders]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1969, 264 p.



УДК 669.017

Поступила 13.10.2017

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКИ СПЛАВЛЕННЫХ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ЛИГАТУР НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ THE INFLUENCE OF MECHANICALLY ALLOYED MODIFYING MASTER LIGATURES ON STRUCTURE AND PROPERTIES OF WELDED JOINTS

Ф. Г. ЛОВШЕНКО, ГУ ВПО Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Беларусь, пр-т Мира, 43,
Г. Ф. ЛОВШЕНКО, УО «Белорусская государственная академия авиации», г. Минск, Беларусь, ул.
Уборевича, 77. E-mail: lovshenko@mail.ru,

А. И. ХАБИБУЛЛИН, ГУ ВПО Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Беларусь, пр-т Мира, 43

F. G. LOVSHENKO, Belarussian-Russian University, Mogilev, Belarus, 43, Mira ave.,

G. F. LOVSHENKO, Belarussian State Academy of Aviation, Minsk, Belarus, 77, Uborevicha str.

E-mail: lovshenko@mail.ru,

A. I. KHABIBULIN, Belarussian-Russian University, Mogilev, Belarus, 43, Mira ave.

Актуальная задача современного сварочного производства – создание электродов, обеспечивающих максимальную производительность и экономичность процесса при требуемой надежности и долговечности конструкции. Перспективным способом повышения механических свойств металла шва является реализация механизма дисперсного упрочнения. Реакционное механическое легирование является эффективной технологией получения нанокристаллических модифицирующих лигатур и модификаторов. Использование электродов с экспериментальным покрытием, содержащим механически сплавленную, композиционную лигатуру, приводит к устранению транскристаллического типа структуры металла шва и уменьшению размеров зерен в 2,5–3,0 раза (с № 8–9 до № 11–12), что обеспечивает снижение на 20–30% порога хладноломкости и увеличение на 15–25% механических свойств металла шва.

Actual problem of modern welding production is the creation of electrodes for maximum performance and efficiency of the process within the required reliability and durability of the structure. A promising way to improve mechanical properties of the weld metal is the implementation of the mechanism of dispersion hardening. Reactionary mechanical alloying is an effective technology of obtaining nanocrystalline modifying ligatures and modifiers. The use of electrodes with an experimental coating containing a mechanically alloyed, composite ligature to resolve transcrystalline type of structure of the weld metal and reduce the grain size by 2.5–3.0 times (from # 8–9 to #11–12) reduces by 20–30% the threshold of cold brittleness and increase by 15–25% of the mechanical properties of the weld metal.

Ключевые слова. Механическое легирование, первичная кристаллизация, сварной шов, модификатор первого рода, размер зерна, измельчение структуры шва, прочность, механические свойства, химическая однородность.

Keywords. Mechanical alloying, the primary crystallization, weld seam, modifier of the first kind, grain size, refinement of the structure of the seam, durability, mechanical properties, chemical homogeneity.

Введение

Несмотря на широкое использование различных механизированных методов сварки плавлением, наиболее применяема дуговая сварка покрытыми металлическими электродами, которые являются самым распространенным расходным сварочным материалом. В связи с этим актуальная задача современного сварочного производства – создание электродов, обеспечивающих максимальную производительность и экономичность процесса при требуемой надежности и долговечности конструкции. Это возможно при реализации технологии, обеспечивающей равнопрочность сварного соединения с основным металлом и отсутствие дефектов в шве и околошовной зоне (зоне сплавления), существенно отличающихся по своей структуре и свойствам как от основного материала, так и между собой. Исходя из условия равнопрочности, механические свойства металла шва и околошовной зоны должны быть не ниже их нижнего значения основного металла.

Механические свойства сварного соединения зависят от его структуры, которая определяется химическим составом материалов, режимами сварки, предыдущей и последующей термической обработкой. Следует отметить, что изменение структуры и свойств материала шва и околошовной зоны при сварке низколегированных сталей проявляется более значительно, чем углеродистых.

Зона сплавления (неполного расплавления), как правило, является слабым местом сварного соединения, в ряде случаев снижающем работоспособность конструкции. Для него характерна пониженная прочность и пластичность, что вызвано термически активированными структурными и фазовыми превращениями, включающими и рост зерен, имеющими место при сварке и последующем охлаждении. Поэтому структура участка сплавления оказывает большое влияние на свойства и работоспособность сварного соединения.

Сварной шов обычно имеет столбчатое (дендритное) крупнозернистое строение, характерное для литой стали, что обусловлено направленной кристаллизацией расплавленного металла сварочной ванны в результате интенсивного теплоотвода в основной металл, а также достаточно медленным охлаждением кристаллизующегося материала. Образование крупнозернистой дендритной структуры негативно влияет на свойства сварного соединения. В процессе кристаллизации шва рост кристаллов начинается от периферии сварочной ванны и направлен к центру сварного шва. В результате этого на центральной оси шва, как правило, находится область соприкосновения дендритов, что приводит к образованию зоны с повышенным содержанием легкоплавких соединений, легирующих элементов и вредных примесей. Химическая неоднородность материала шва существенно снижает его прочность и коррозионную стойкость. Следует отметить, что в отличие от зоны сплавления возможности регулирования структуры и свойств сварного шва значительно шире. К эффективным способам воздействия на эти характеристики относятся увеличение скорости охлаждения шва, термическая обработка, модифицирование тугоплавкими соединениями, наложение ультразвуковых колебаний на кристаллизующийся металл. Повышенные скорости охлаждения металла шва способствуют измельчению его структуры и увеличению прочности, однако при этом снижаются пластические свойства и ударная вязкость, что объясняется изменением количества и строения перлитной фазы.

Одним из относительно простых, с технической точки зрения, способов управления структурой шва является применение сварочных материалов с карбонитридным упрочнением [1]. Легирование низкоуглеродистых марганцовистых сталей N, V, Ti, а также Al создает предпосылки для выделения дисперсных включений карбонитридов ванадия, титана или нитридов алюминия, вызывающих измельчение (до № 9–11) действительного зерна стали, что в совокупности благоприятно влияет на прочность, вязкость и хладостойкость. Доля собственно карбонитридного (дисперсионного) упрочнения составляет около 15–25%, а доля упрочнения от измельчения зерна – 30–40%. Обычно используют совместное легирование несколькими карбидо- и нитридообразующими элементами, например 0,08% V + 0,03% Nb, а в сталях, содержащих азот, 0,10% V + 0,04% Al. С учетом этого положения разработаны основные марки стали с карбонитридным упрочнением трех категорий прочности: 14Г2АФ, 16Г2АФ, 18Г2АФ, однако данные материалы имеют повышенную стоимость и являются дефицитными.

Перспективный способ повышения механических свойств металла шва – реализация механизма дисперсного упрочнения, заключающегося в образовании термодинамически стабильных дисперсных частиц, например, оксидов или нитридов, в процессе механического легирования порошковой композиции и последующего введения полученного материала в состав покрытия электрода. Однако в этом случае снижаются пластические характеристики металла шва.

Цель настоящего исследования – это разработка способа получения сварочных материалов (покрытые электроды, порошковые проволоки, флюсы, пасты), дополнительно содержащих компоненты, измельчающие в процессе кристаллизации структуру шва и увеличивающие его вязкость и прочность.

Методика исследования, материалы и оборудование

Достижение цели обеспечивается введением в состав сварочных материалов (покрытия электродов) в количестве до 5% лигатуры, представляющей собой субмикроструктурную порошковую композицию с размером частиц 20–40 мкм, содержащую равномерно распределенные наноразмерные включения тугоплавких соединений (оксидов, нитридов, карбидов и т. д.), выполняющих роль модификаторов первого рода.

Технология производства лигатуры включает в себя основные этапы: проектирование исходного состава смеси; обработку шихты в механореакторе и получение механически легированной композиции,

отжиг (термическая активация) композиции, «размол» спёка и сепарацию продукта размола. Включения наноразмерных тугоплавких соединений образуются в результате механически и термически активируемого взаимодействия между компонентами композиции, имеющего место при механическом легировании и последующем отжиге.

Компоненты, входящие в состав шихты, для производства лигатуры по технологии, основанной на реакционном механическом легировании, должны быть дешевыми, доступными и экологически безопасными. При этом хотя бы одна из фаз, образующихся в процессе протекания механически и термически активируемого взаимодействия между компонентами шихты, должна исполнять роль модификатора и обеспечивать дисперсное упрочнение, а другие формирующиеся фазы, по меньшей мере, не должны снижать физико-механические свойства шва. Как следует из результатов работ [2–5], наиболее перспективными для производства лигатуры являются композиции системы «железо (основа) – легирующий металл (Me), имеющий высокое сродство к кислороду – легирующий оксид ($\Sigma_n O_m$), обладающий более высоким значением ΔG° образования, чем оксид легирующего металла». В этом случае при обработке шихты в механореакторе и последующем отжиге механически легированной композиции основным является механически и термически активируемое взаимодействие между легирующими компонентами системы ($\nu Me + \Sigma_n O_m \rightarrow Me_\nu O_m + n \Sigma$). Продукт его – наноразмерные термодинамически стабильные включения оксида легирующего металла ($Me_\nu O_m$), эффективно выполняющие роль модификатора и обеспечивающие дисперсное упрочнение шва. С учетом экологической безопасности, химической активности и доступности наиболее приемлемы Al_2O_3 , MgO , ZrO_2 , а также оксиды редкоземельных металлов. В работе использован оксид алюминия. Исходя из этого, в качестве легирующего металла, имеющего высокое сродство к кислороду, применяли алюминий, а легирующим оксидом, обладающим более высоким значением ΔG° образования, чем оксид легирующего металла, являлся диоксид кремния SiO_2 .

Для производства модифицирующей лигатуры в качестве исходных компонентов применяли порошки железа ПЖ2М (ГОСТ 9849-86), алюминия ПА4 (ГОСТ 6058-86), аморфного оксида кремния (IV) марки «ч» (ГОСТ 9428-73), стеариновой кислоты ($C_{17}H_{35}COOH$) марки «ч» (ГОСТ 9419-60). Основой шихты служил порошок железа. Суммарное содержание легирующих компонентов – алюминия и оксида кремния в шихте составляло 10%. Соотношение между ними соответствовало теоретически необходимому для полного восстановления кремния и связывания алюминия в Al_2O_3 . Стеариновую кислоту применяли в качестве поверхностно-активного вещества и вводили в шихту в количестве 0,7%.

Механическое легирование проводили в лабораторной гирационной (эксцентриковой) вибромельнице при частоте колебаний 25 с^{-1} , амплитуде колебаний 5 мм, степени заполнения рабочей камеры шарами 75%. Соотношение объемов шаров и порошка составляло 10:1 при массе обрабатываемого материала 150 г. Ускорение размалывающих тел – $140\text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$, энергонапряженность процесса – $0,18\text{ Дж}\cdot\text{г}^{-1}$. Угол наклона оси рабочей камеры к горизонтали 45° . Водоохлаждаемая рабочая камера объемом 1 дм^3 цилиндрической формы позволяла поддерживать температуру не выше 50°C в течение всего процесса механообработки. Размольными телами служили шары диаметром 11,15 мм из стали ШХ15СГ твердостью 62 HRC. Механическое легирование проводили в герметически изолированном рабочем пространстве.

Температура отжига механически легированной композиции соответствовала температуре начала взаимодействия между ее компонентами и составляла 630°C .

Механически активированную порошковую лигатуру смешивали со стандартным электродным покрытием в шаровой мельнице типа «пьяная бочка» в течение 20 мин и полученную шихту наносили на стержень электрода. При экспериментах в качестве наплавляемого материала использовали стандартный электрод марки МР-3 с диаметром стержня 3 мм.

Сварной шов формировали на стальной трубе из стали БСт3 с толщиной стенки 2,5 мм. Свариваемый образец предварительно разрезали вдоль оси для обеспечения полного проплавления металла и образования качественного шва.

Сварку проводили при следующих режимах: ток – 80 А; скорость сварки – 10 м/ч, длина дуги 3–5 мм.

Результаты исследований и их обсуждение

Превращения, протекающие в композиции, и их влияние на фазовый состав, структуру и свойства. Общая концентрация алюминия в порошке ПА4 составляла 98,8%, количество металлического алюминия – 98,5%. Алюминиевый порошок содержит ряд примесей, в том числе Al_2O_3 (0,4%) и H_2O (1,1%). С учетом указанных примесей, согласно термодинамическому анализу, при обработке шихты

в механореакторе должно происходить механически активируемое взаимодействие между алюминием, с одной стороны, и кислородсодержащими (SiO_2 , H_2O , $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$) и углеродсодержащим ($\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$) соединениями соответственно с другой [2], основным продуктом которого является Al_2O_3 и дополнительным – Al_4C_3 .

Процесс формирования механически легированных материалов на основе металлов, включая и рассматриваемую систему « $\text{Fe}_{\text{ост.}} - 10\% (\text{Al} - \text{SiO}_2) - 0,7\% \text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$ », подобен изученному и подробно описанному в [2]. Продуктом механического легирования служат гранулированные композиции, частицы которых имеют осколочную, близкую к сферической, форму. После обработки в механореакторе в течение более 5 ч они металлографически однородны – включения легирующих компонентов, а также границы зерен не выявляются. Последнее указывает на то, что компоненты или продукты их взаимодействия между собой или основой в пределах каждой гранулы распределены равномерно и композиция в целом металлографически гомогенна и имеет ультрадисперсное строение. Гранулы характеризуются высокой плотностью с отдельными порами и трещинами. Средний размер частиц механически легированных железных композиций зависит от состава исходной шихты и находится в пределах 20–50 мкм. Независимо от состава композиции структура матрицы, представляющей собой фазы на основе железа – феррит, аустенит, мартенсит, формируется по механизму динамического возврата. Он включает этапы: накопление дислокаций до максимально возможной плотности ($\rho \geq 10^{12} \text{ см}^{-2}$), их перестройку с образованием фрагментированной субструктуры, превращение фрагментов в кристаллиты со степенным распределением ОСМД, обусловленным наличием дислокационных стенок. Структура основы относится к субмикроструктурному типу – размер зерен, разделенных на блоки величиной не более 20 нм, не превышает 100 нм. Основа характеризуется большой площадью поверхности раздела между компонентами, что способствует образованию центров кристаллизации новых фаз и ускоряет процесс их формирования. Механически синтезированные фазы рентгенографическим анализом, как правило, не фиксируются, что обусловлено, с одной стороны, их кластерным рентгеноаморфным строением, а с другой – малым содержанием, часто находящимся за пределами разрешающей способности метода. На наличие механически синтезированных упрочняющих фаз однозначно указывает высокая твердость гранулированных композиций, изменяющаяся в зависимости от состава, определяющего степень завершения механически активируемых фазовых превращений, в пределах HV 550–700. Следует отметить, что во всех системах с относительно небольшим содержанием реагирующих компонентов механически активируемые фазовые превращения полного завершения не находят и получаемые композиции являются термодинамически неравновесными системами, содержащими исходные компоненты или промежуточные продукты их превращений. Причем с уменьшением ΔG° образования легирующего оксида она снижается. SiO_2 является трудновосстановимым оксидом и степень завершения окислительно-восстановительных превращений в рассматриваемой системе низка.

Отсутствие явно выраженных механохимических процессов, протекающих между алюминием и диоксидом кремния при механическом легировании, подтверждается кривыми термогравиметрического анализа композиции [2–5]. Основное взаимодействие между алюминием и диоксидом кремния, вызывающее образование ультрадисперсных частиц оксида алюминия, происходит при последующей термической обработке механически легированной композиции. Причем взаимодействие между компонентами в этих системах, подвергнутых обработке в механореакторе и находящихся в механически активированном состоянии, по сравнению с обычными порошковыми смесями протекает при меньшей температуре, с большей скоростью и полнотой, что обусловлено особенностями их строения. Основные из них заключаются в следующем:

- 1) дисперсные частицы, образующие композицию, характеризуются высокой дефектностью кристаллического строения и находятся в активизированном состоянии; площадь межчастичной поверхности чрезвычайно велика;
- 2) между взаимодействующими компонентами существует непосредственный контакт по всей граничной поверхности, находящейся в ювенильном состоянии;
- 3) диффузионные пути перемещения взаимодействующих компонентов коротки и составляют в большинстве случаев всего несколько десятков атомных параметров.

Это создает условия для протекания превращений по кинетике, близкой к бездиффузионной. Термическое воздействие должно активировать и приводить к завершению, прежде всего, фазовые превращения, получившие определенное развитие при механическом легировании. Наиболее интенсивно эти реакции протекают при температурах выше 620 °C (рис. 1).

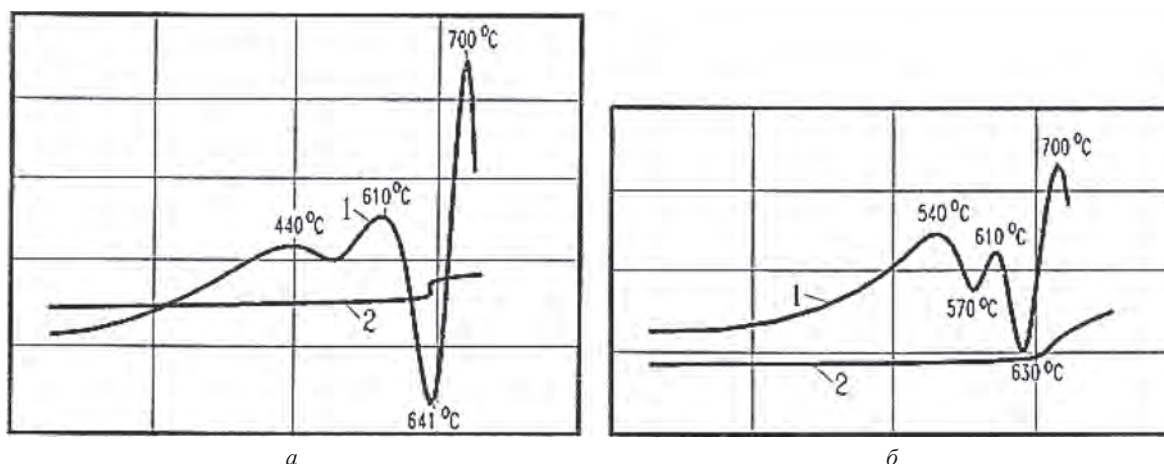


Рис. 1. Термогравиметрический анализ композиции Al- SiO₂- ПАВ, полученной обработкой в механореакторе (а) с последующим отжигом (б)

Термогравиметрическое исследование образцов порошковой композиции Al-SiO₂, нагревавшихся ранее до 700 °С, выявляет два эндоэффекта при 570 и 620–630 °С. Они вызваны фазовыми переходами первого рода, поскольку на ДТА кривых охлаждения им соответствуют экзотермические эффекты. Тепловой эффект при 570 °С вызван плавлением эвтектики Al-Si (по литературе – 577 °С), а при 630 °С – плавлением основного материала. Следовательно, в термически обработанной гранулированной композиции Al-SiO₂ появился элементарный кремний, т. е. протекает термически инициированная реакция, протекание которой подтверждается рентгенографически. В термообработанной при 640 °С шихте композиции Al-SiO₂_0,5StH присутствуют элементарный кремний и оксид алюминия [2].

Отжиг проводится при температурах не ниже температуры протекания термически активируемых реакций. Согласно результатам проведенного исследования, для предлагаемой композиции оптимальная температура начала термической активации равна 620–650 °С. Процесс завершается в течение 2–3 мин. Следует отметить, что отжиг как одна из технологических стадий получения материалов не является обязательной операцией. Исключение ее обеспечивает увеличение производительности процесса наплавки за счет выделения тепла от экзотермической реакции и снижает вероятность образования газовой пористости. Таким образом, предварительную термическую активацию механически легированной композиции можно исключить. Кроме того, за счет экзотермической реакции уменьшается скорость охлаждения и затвердения металла шва, способствуя выходу из него газовых и неметаллических включений, а также обеспечивается увеличение количества наплавляемого металла в единицу времени, что улучшает технологические свойства электродов и повышает производительность сварки.

Структура основного металла труб, использовавшихся для получения сварных соединений, соответствует стали БСт. 3 (рис. 2).

Как показали результаты исследования микроструктуры сварного шва, полученного при сварке стандартным электродом марки МР-3, он имеет классическое строение, характерное для швов ручной дуговой сварки за один проход. Для него характерна типичная крупноугольчатая дендритная структура (рис. 3, а) с направлением роста зерен от основного металла к центру шва. Размер одного дендрита составляет приблизительно 100 мкм в диаметре. Структура металла шва, полученного при использовании экспериментального электрода, существенно отличается формой и размерами (рис. 3, б).

Аналогичные изменения структуры наблюдаются и в наиболее ответственных участках сварного соединения, зонах сплавления (рис. 4), отвечающих за свойства и работоспособность сварного соединения. Кроме эффекта существенного измельчения структуры, можно отметить и исчезновение зоны столбчатых кристаллитов.

Следует отметить, что экзотермическое взаимодействие между компонентами лигатуры – алюминием и оксидом кремния, имеющим место в процессе сварки, обеспечивает

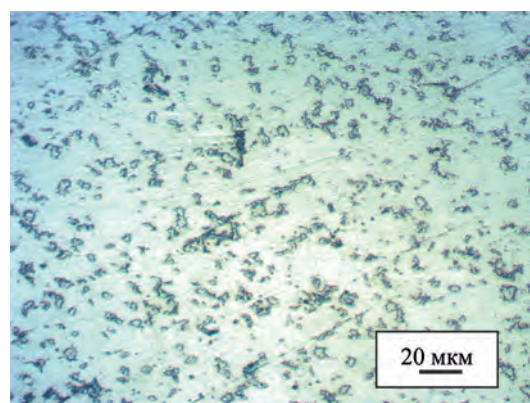


Рис. 2. Структура основного металла образца (после отжига)

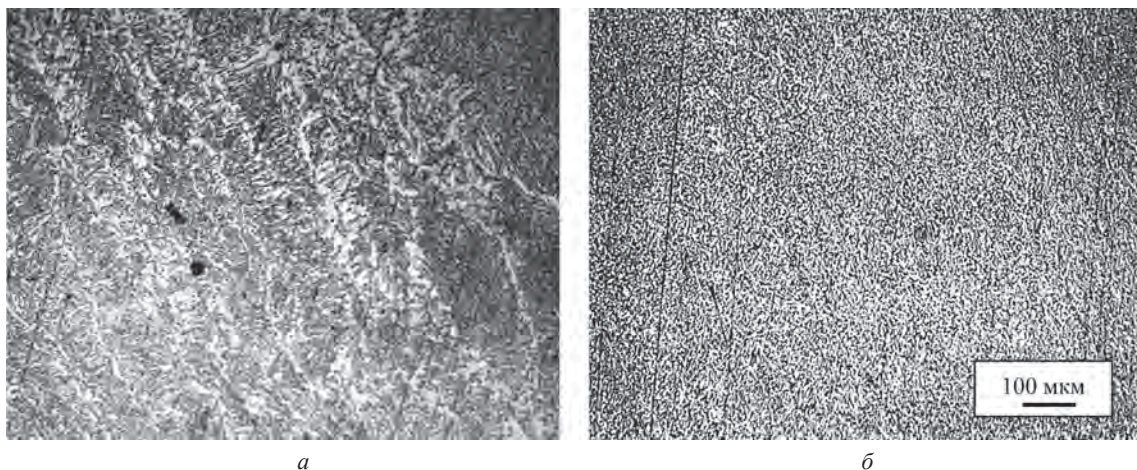


Рис. 3. Структура металла шва, полученного при использовании стандартного (а) и экспериментального (б) электродов

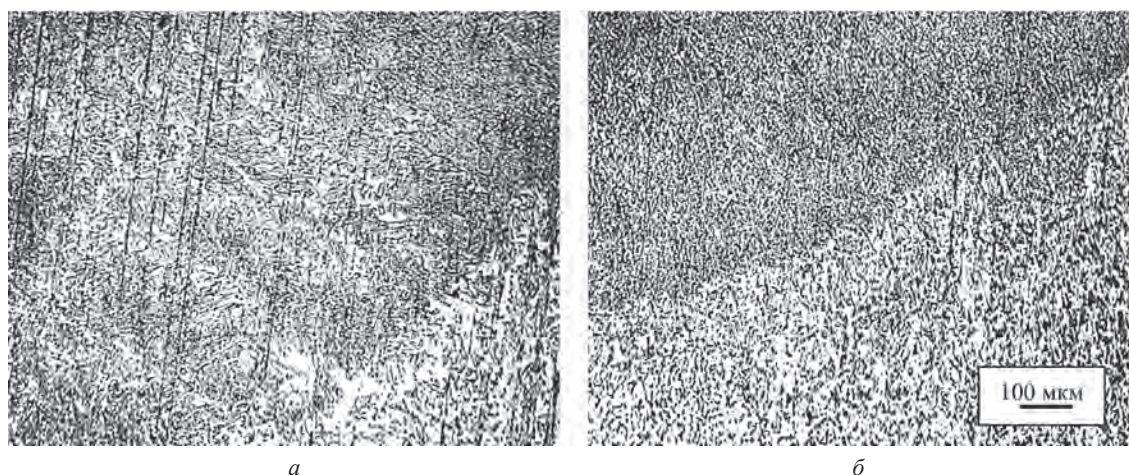


Рис. 4. Структура зон сплавления (неполного расплавления): а – стандартный; б – экспериментальный электрод

заметный тепловой эффект, уменьшающий скорость охлаждения и затвердения металла шва. Это способствует выходу из него газовых и неметаллических включений, а также позволяет интенсифицировать процесс сварки и повысить устойчивость его протекания.

Результаты исследования показали, что использование электродов с экспериментальным покрытием, содержащим механически сплавленную, композиционную лигатуру, вызывающую модифицирующий эффект, приводит к устранению транскристаллического типа структуры металла шва и уменьшению размеров зерен в 2,5–3,0 раза (с № 8–9 до № 11–12). Это обеспечивает снижение на 20–30 °С порога хладноломкости и увеличение на 15–25% механических свойств металла шва.

Выводы

Применение технологии, основанной на реакционном механическом легировании и обеспечивающей получение механически сплавленных модифицирующих лигатур, является эффективным способом улучшения структуры и повышения комплекса физико-механических и эксплуатационных свойств сварных соединений.

Литература

1. Конструкционные материалы: Справ. / Под. ред. Б. Н. Арзамасцева. М.: Машиностроение, 1990. 668 с
2. Ловшенко Г. Ф. Наноструктурные механически легированные материалы на основе металлов / Г. Ф. Ловшенко, Ф. Г. Ловшенко, Б. Б. Хина. Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2008. 680 с.
3. Ловшенко Г. Ф. Теоретические и технологические аспекты создания наноструктурных механически легированных материалов на основе металлов / Г. Ф. Ловшенко, Ф. Г. Ловшенко. Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2005. 264 с.
4. Ловшенко Ф. Г. Закономерности формирования фазового состава, структуры и свойств механически легированных материалов / Ф. Г. Ловшенко, Г. Ф. Ловшенко. Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2016. 420 с.
5. Ловшенко Ф. Г. Композиционные наноструктурные механически легированные порошки для газотермических покрытий / Ф. Г. Ловшенко, Г. Ф. Ловшенко. Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2013. 215 с.

References

1. *Konstruktsionnye materialy*. Spravochnik. Pod. red. B. N. Arzamastseva [Construction materials]: Under. ed. by B. N. Arzamastsev. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1990. 668 p.
2. **Lovshenko G. F., Lovshenko F. G., Khina B. B.** *Nanostrukturnye mekhanicheski legirovannye materialy na osnove metallov* [Nanostructured mechanically alloyed materials metals-based]. Mogilev, Belarusian-Russian University Publ., 2008, 680 p.
3. **Lovshenko G. F., Lovshenko F. G.** *Teoreticheskie i tekhnologicheskie aspekty sozdaniya nanostrukturnykh mekhanicheski legirovannykh materialov na osnove metallov* [Theoretical and technological aspects of mechanically alloyed nanostructure materials creation based on metal]. Mogilev, Belarusian-Russian University Publ., 2005. 264 p.
4. **Lovshenko F. G., Lovshenko G. F.** *Zakonomernosti formirovaniya granulometricheskogo sostava i struktury mekhanicheski legirovannykh materialov* [Laws of formation of structure and size distribution of mechanically alloyed materials]. Mogilev, Belarusian-Russian University Publ., 2016. 420 p.
5. **Lovshenko F. G., Lovshenko G. F.** *Kompozitsionnye nanostrukturnye mekhanicheski legirovannye poroshki dlya gazotermicheskikh pokrytiy* [Composite nanostructure mechanically alloyed powders for thermal coatings]. Mogilev, Belarusian-Russian University Publ., 2012. 215 p.



16–19 октября 2017 г. в г. Набережные Челны состоялась научно-техническая конференция «Детали машиностроения из чугуна с вермикулярным графитом. Свойства. Технология. Контроль».

В конференции приняли участие российские и зарубежные ученые, представители предприятий-изготовителей изделий из чугуна и модификаторов чугуна, а также специалисты по контролю и стандартизации.

Конференция позволила провести широкое профессиональное обсуждение проблем изготовления и расширения сферы применения отливок из ЧВГ: технология получения отливок из ЧВГ; оборудование и методы контроля структуры и состава; нормативная база металлографии и цифровой микроскопии.

Расширенная информация о результатах конференции будет представлена в журнале № 1, 2018 г.



УДК 621.74.669.715

Поступила 10.11.2017

БЕЗОТХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ АЛЮМИНИЕВОЙ СТРУЖКИ И ШЛАКОВ В КОРОТКОПЛАМЕННОЙ РОТОРНОЙ ПЕЧИ WASTELESS TECHNOLOGY OF PROCESSING OF ALUMINUM CHIPS AND SLAGS IN A SHORT-FLAME ROTARY FURNACE

Л. В. ТРИБУШЕВСКИЙ, Б. М. НЕМЕНЕНОК, Г. А. РУМЯНЦЕВА, И. А. ГОРБЕЛЬ,
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65,
E-mail: nemenenok@tut.by

L. V. TRIBUSHEVSKIY, B. M. NEMENENOK, G. A. RUMIANTSEVA, I. A. GORBEL,
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosty ave. E-mail: nemenenok@tut.by

В работе приведены результаты исследований по плавке алюминиевой стружки и шлака в короткопламенной роторной печи. Предложены варианты использования образующихся вторичных шлаков для внепечной обработки стали в виде раскислителей и разжижителей рафинировочного шлака.

The paper presents the results of research on the melting of aluminum chips and slag in a short-flame rotary furnace. Variants of the use of secondary waste products for out-of-furnace treatment of steel in the form of deoxidizers and diluents of refining slag are suggested.

Ключевые слова. Алюминиевый шлак, роторная печь, безотходная технология, статистика, раскисление, десульфурация, разжижение шлака.

Keywords. Aluminum slag, rotary furnace, non-waste technology, statistics, deoxidation, desulfurization, slag thinning.

В настоящее время во многих странах приоритетными в государственной промышленной политике становятся малоотходные и безотходные технологии, чистые технологические процессы и промышленные производства, обеспечивающие комплексное использование всех видов сырья [1].

Постоянно растущие цены на энергоносители вместе с ужесточающимися положениями о защите окружающей среды являются движущей силой для разработки современных безотходных технологий рециклинга отходов алюминия. Создание такой технологии переработки стружки и шлаков алюминиевых сплавов является актуальной задачей и представляет научный, практический и экономический интерес. Один из путей повышения экономической эффективности работы предприятий – это снижение издержек, связанных с образованием и утилизацией экологически опасных отходов. Шлаки, образующиеся при плавке алюминия и его сплавов, представляют собой конгломерат высокотемпературных образований из смеси металла, оксидов и солей. При удалении шлака с поверхности расплава с ним захватывается значительное количество металла, достигающее 70–80% от массы шлака. На ОАО «Белцветмет» шлаки и стружка алюминиевых сплавов поступают разного состава и от различных производителей алюминиевого литья, что, в итоге, сказывается на ее засоренности, влажности, содержании металлического алюминия и фракционном составе [2, 3]. Значительные изменения в составе стружки и шлаков происходят и при их длительном хранении на открытых площадках в результате протекания химических реакций алюминия и его соединений с влагой воздуха. Все это приводит к росту безвозвратных потерь, снижению металлургического выхода и повышению себестоимости извлекаемого алюминия.

Эффективность процессов переработки алюминиевых стружки и шлаков зависит от многих факторов. Для выбора наиболее рациональных параметров технологии плавки в короткопламенной роторной печи, обеспечивающих минимальную себестоимость получаемого алюминиевого сплава, анализировали результаты 180 плавов. При проведении исследований в качестве компонентов шихты использовали алюминиевую стружку с засоренностью 25%, алюминиевые шлаки с содержанием 50–68% алюминия

и просев алюминиевого шлака с фракцией более 10 мм. В ходе проведения плавки контролировали состав и массу шихты, засоренность стружки, металлургический выход, химический состав получаемого сплава и продолжительность плавки. Массу стружки в ходе плавки варьировали в пределах 140–440 кг, добавку шлака изменяли в пределах 0–360 кг, просев шлака добавляли в количестве 0–160 кг на плавку. Флюс при плавке не использовали.

Металлургический выход (МВ) от всей металлозавалки рассчитывали по формуле:

$$МВ = \frac{М_{спл} - М_{прос} \frac{a}{100} - М_{шл} \frac{b}{100}}{М_{стр} \left(1 - \frac{c}{100}\right)} \cdot 100, \%,$$

где $М_{спл}$ – масса полученного сплава, кг; $М_{прос}$ – масса просева шлака в шихте, кг; a – количество алюминия, извлекаемого из просева шлака, %; $М_{шл}$ – масса шлака в шихте, кг; b – количество алюминия, извлекаемого из шлака, %; $М_{стр}$ – масса стружки алюминиевых сплавов в шихте, кг; c – засоренность стружки, %.

При расчете себестоимости получаемого сплава учитывали затраты на топливо, электроэнергию, шихтовые материалы и заработную плату с налогами для бригады плавильщиков в ценах 2015 г. (до деинфляции). Результаты исследований по влиянию состава шихты на металлургический выход и длительность плавки подробно изложены в работе [2]. Себестоимость получаемого сплава является интегральной характеристикой, зависящей от ряда факторов: качества и стоимости сырья, длительности плавки и металлургического выхода. Поэтому зависимость себестоимости алюминиевого сплава от состава металлозавалки имеет экстремум, приходящийся на содержание шлака в шихте, соответствующее 25–30% (рис. 1). Увеличение доли шлака сверх указанного или ее уменьшение в составе металлозавалки приводит к росту себестоимости [3].

Отношение шлака к стружке в составе металлозавалки аналогично влияет на себестоимость получаемого сплава, при этом минимальная себестоимость 20,09–20,2 тыс. руб. за 1 кг сплава отмечается при отношении шлака к стружке на уровне 32–50%. Для данного соотношения компонентов наблюдаются также малая длительность плавки и максимальный металлургический выход.

Проведение серии плавки на шихте, состоящей из стружки с засоренностью 25% и просева шлака, показало, что минимальная себестоимость 1 кг сплава на уровне 20,7 тыс. руб. обеспечивается при отношении просева шлака к стружке 27%. При этом металлургический выход составляет 86,3%, а длительность плавки – примерно 77 мин. Максимальная себестоимость порядка 22,2 тыс. руб. отмечается при отношении просева шлака к стружке 34%. Для данного состава шихты характерна меньшая длительность плавки (≈69 мин) при металлургическом выходе 80,5%. Очевидно, что для данного состава шихты на снижение себестоимости сплава более сильное влияние оказывает показатель металлургиче-

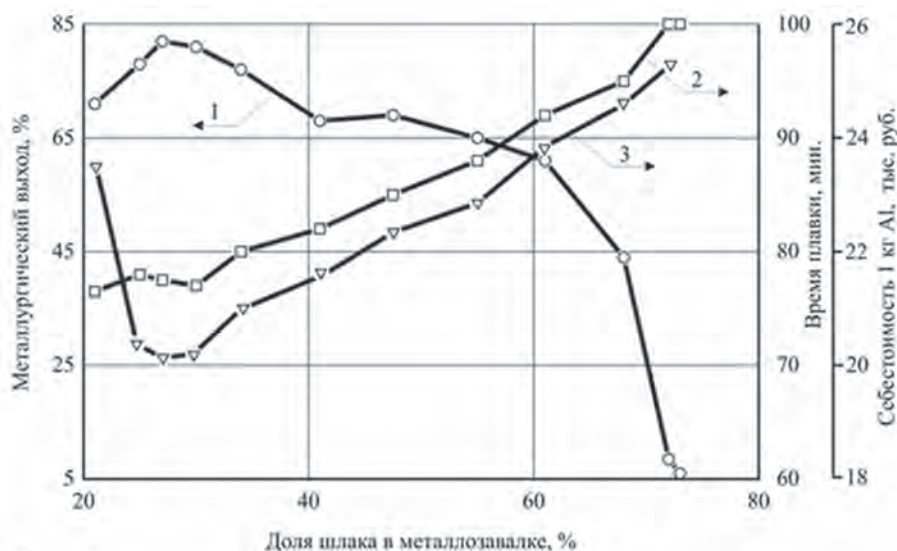


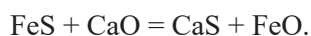
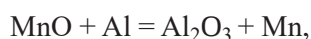
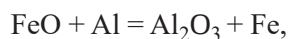
Рис. 1. Влияние доли шлака в металлозавалке на металлургический выход (1), длительность плавки (2), себестоимость получаемого сплава (3)

ского выхода. Даже увеличение длительности плавки на 3 мин не сказывается на изменении себестоимости, если отмечается незначительное (0,5%) повышение металлургического выхода. Анализ проведенных плавов показывает, что состав шихты существенно влияет на металлургический выход, длительность плавки и себестоимость получаемого сплава. При этом результирующий показатель (себестоимость) получается минимальным на уровне 20,0–20,2 тыс. руб. при доле шлака в металлозавалке 25–30% и отношении шлака к стружке 35–45%.

Следует отметить, что максимальный диапазон изменения себестоимости получаемого сплава в зависимости от исследованных вариантов состава шихты составляет 3–5 тыс.руб. за 1 кг без учета затрат на экологический налог и захоронение образующихся отходов. Дальнейшее снижение себестоимости возможно при реализации безотходной или малоотходной технологии плавки, которая предусматривает не захоронение образующихся отходов от вторичной плавки, а использование их для производства нового товарного продукта, востребованного в металлургии или других производственных сферах [4].

В качестве такого продукта была выбрана алюминиевая раскислительная смесь (АРС). Согласно техническим условиям ТУ ВУ 700028768.003–2008 на данный материал, в нем должно содержаться 20–24% Al, 50–65% Al_2O_3 , 1,5–7% C, 4–6% Fe_2O_3 , до 6% ($Na_2O + K_2O$), 4–6% CaO, 4–6% MgO. Для получения такой смеси использовали измельченный вторичный шлак, полученный при плавке в короткопламенной роторной печи в качестве отхода. К нему добавляли отсев алюминиевой стружки для получения необходимой концентрации по Al, CaO и MgO.

При плавке стали в большегрузных электродуговых печах удаление серы из расплава стали проводится за пределами плавильного агрегата на установке «печь-ковш». Необходимыми условиями для ее удаления из расплава стали в шлак являются высокая основность шлака и его низкая окисленность. Высокая основность шлака обеспечивается добавками извести в сталеразливочный ковш, а для получения низкой окисленности шлака проводят его обработку раскислительными смесями типа АРС. Алюминий, содержащийся в АРСе, в количестве 20–24% взаимодействует с оксидами железа и марганца и, тем самым, снижает окисленность шлака. Таким образом, создаются благоприятные условия для удаления серы в шлак [5]:



Присадку алюминиевой раскислительной смеси (АРС) осуществляли сразу после выпуска расплава из ДСП и при дальнейшей обработке металла на установке «печь-ковш». АРС вводили порциями по 20–40 кг с общим расходом 40–120 кг на плавку. Цвет шлака в сталь-ковше в ходе обработки в зависимости от окисленности (суммы оксидов FeO и MnO) изменялся с черного до светло-серого и белого. Содержание Al_2O_3 сразу после присадки АРС в среднем составляло 17,27%, но при дальнейшей обработке расплава в ходе присадки шлакообразующих снижалось, достигая в среднем 13,38%. Одновременно снижалось и содержание оксидов железа и марганца, сумма которых к концу обработки снизилась в среднем с 2,25 до 1,37%.

После обработки шлака АРС визуально отмечалось повышение его жидкотекучести, достигавшей максимума при присадке 100 кг АРС и более. При этом ухудшение разливаемости стали на опытных плавках не происходило. Положительное влияние алюминиевых шлаков на снижение вязкости сталеплавильных шлаков отмечают и авторы работ [4, 5]. Степень десульфурации стали с использованием АРС находилась в пределах 23,9–61,1% и в среднем составила 38,7%. Степень десульфурации сравнительных плавов находилась в пределах 17,0–57,1% и в среднем составляла 35,5%. Применение алюминийсодержащих шлакораскислительных смесей при обработке расплава на установке «печь-ковш» ограничено из-за опасности увеличения содержания алюминия в металле, что негативно отражается на разливаемости стали. Меньшая продолжительность нахождения расплава под рафинировочным шлаком, а также неудовлетворительное его раскисление и являются одной из причин сравнительно невысокой степени десульфурации стали.

При проведении второй серии опытных плавов содержание Al_2O_3 в исходном шлаке в среднем составляло 9,18%, что являлось результатом раскисления расплава алюминием во время выпуска стали из ДСП. В ходе дальнейшей обработки расплава присадками АРС содержание Al_2O_3 в шлаке повышалось, достигая в среднем 11,97%, одновременно отмечалось снижение содержания оксидов железа и марганца, сумма которых к концу обработки составляла в среднем 0,73%.

При выплавке стали 20ХНР присадка плавикового шпата при обработке на установке «печь-ковш» не осуществлялась, а АРС присаживали двумя порциями по 60 кг с общим расходом 120 кг на плавку. По визуальной оценке, жидкотекучесть шлака данной плавки соответствовала жидкотекучести шлака плавов, на которых использовали как плавиковый шпат (CaF_2), так и АРС. Степень десульфурации стали, обработанной с использованием АРС, соответствует степени десульфурации стали, обработанной с использованием штатных раскислителей (62,0 и 62,5% соответственно). Основываясь на результатах опытных плавов, была предложена схема безотходной технологии переработки алюминиевой стружки и шлаков в короткопламенной роторной печи (рис. 2).

Следует отметить, что в зависимости от требований потребителя и состава шихты металлопродукция может производиться в виде чушек массой 15 кг, «пирамидок» или алюминиевых гранул, получаемых по сухой технологии. Представленная схема реализована на НПФ «Металлон» в 2006 г. и на протяжении 10 лет предприятие обеспечивает раскислительной смесью Белорусский металлургический завод и другие предприятия. В настоящее время производство АРС налажено на ОАО «Белцветмет».

Эффективность рафинирующей обработки стали на установке «печь-ковш» во многом определяется составом рафинирующего шлака. По данным Д. А. Дюдкина с соавторами [6], оптимальный состав шла-

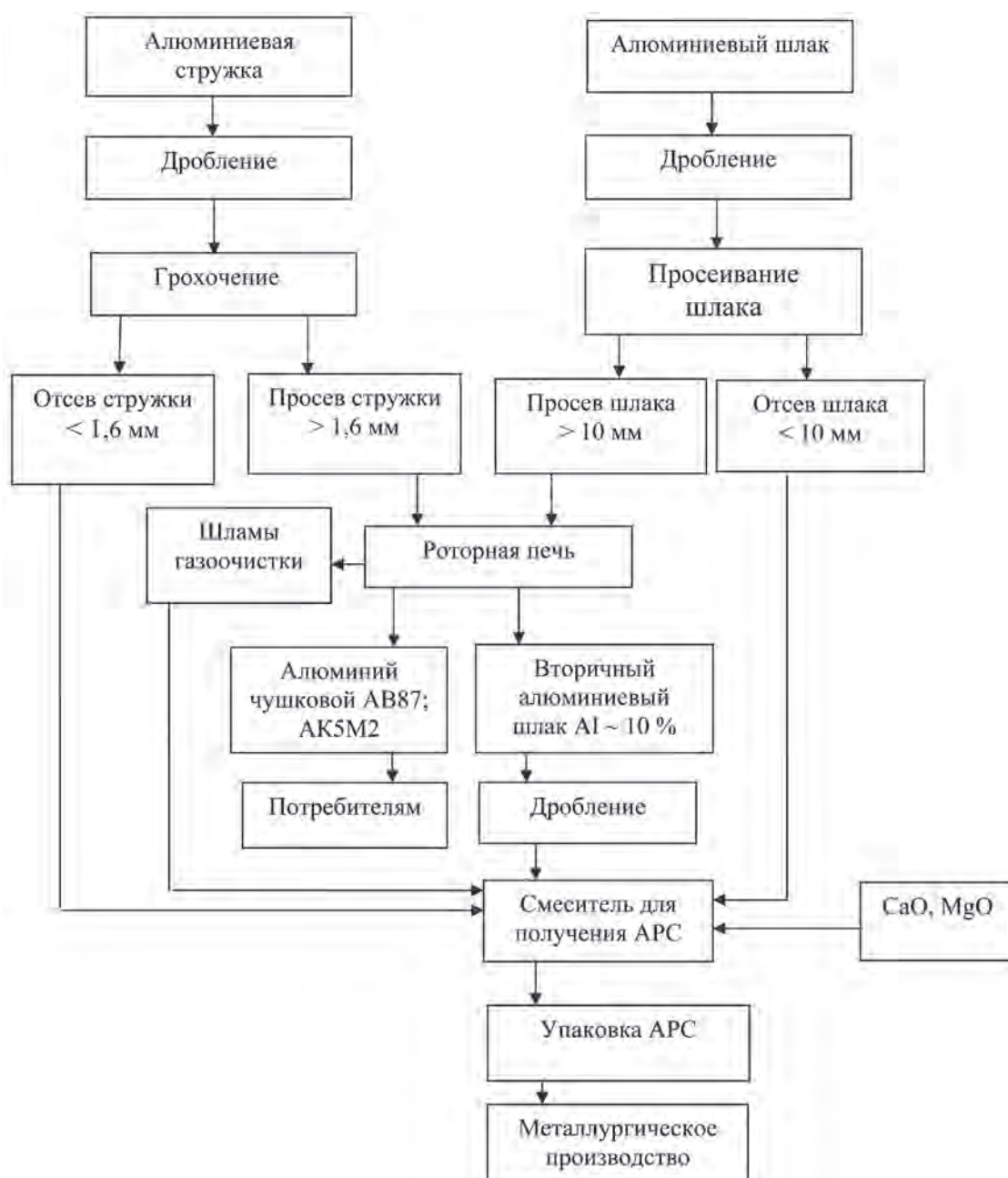


Рис. 2. Схема безотходной технологии переработки алюминиевой стружки и шлаков

ка в конце рафинирующей обработки должен быть следующим: 58,0–62,0% CaO; 8,0–10,0% SiO₂; 6,0–8,0% MgO; 20,0–25,0% Al₂O₃; < 0,5% FeO; 0,13–0,15% MnO. На практике шлак такого состава называют «белым» из-за светлого цвета, который бывает при низком содержании FeO. При обеспечении «белого» шлака степень десульфурации металла достигает 70–85% [7]. Исследование 238 составов рафинировочных шлаков при обработке стали 80К на установке «печь-ковш» на Белорусском металлургическом заводе свидетельствует о их значительном разбросе. Так, содержание SiO₂ изменяется от 15,1 до 56,6%, CaO – от 25,7 до 66,0, MgO – от 1,94 до 11,89, Al₂O₃ – от 1,18 до 4,24, FeO – от 0,01 до 2,5, MnO – от 0,01 до 3%. Результаты статистической обработки составов рафинировочного шлака для стали 80К приведены на рис. 3–10.

Из рис. 3 видно, что максимальное количество случаев приходится на содержание SiO₂ 30,0–40,0% и намного превышает оптимальную концентрацию SiO₂ для рафинировочных шлаков [6]. Учитывая, что футеровка сталеразливочного ковша основная, то превышение в рафинировочных шлаках оптимальных концентраций SiO₂ может приводить к взаимодействию с MgO футеровки и вызывать ее коррозию в зоне шлакового пояса.

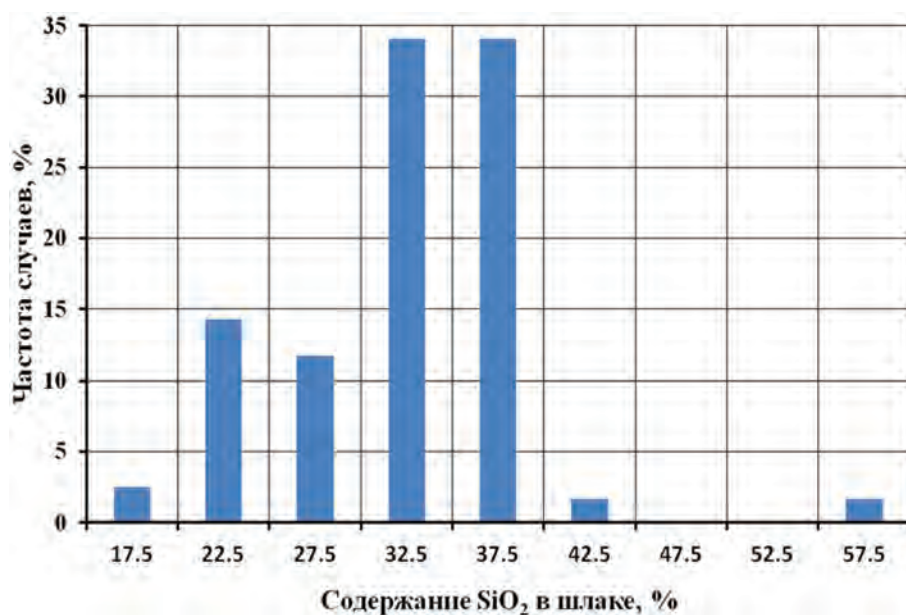


Рис.3. Диаграмма изменения содержания SiO₂ в рафинировочных шлаках для стали 80К

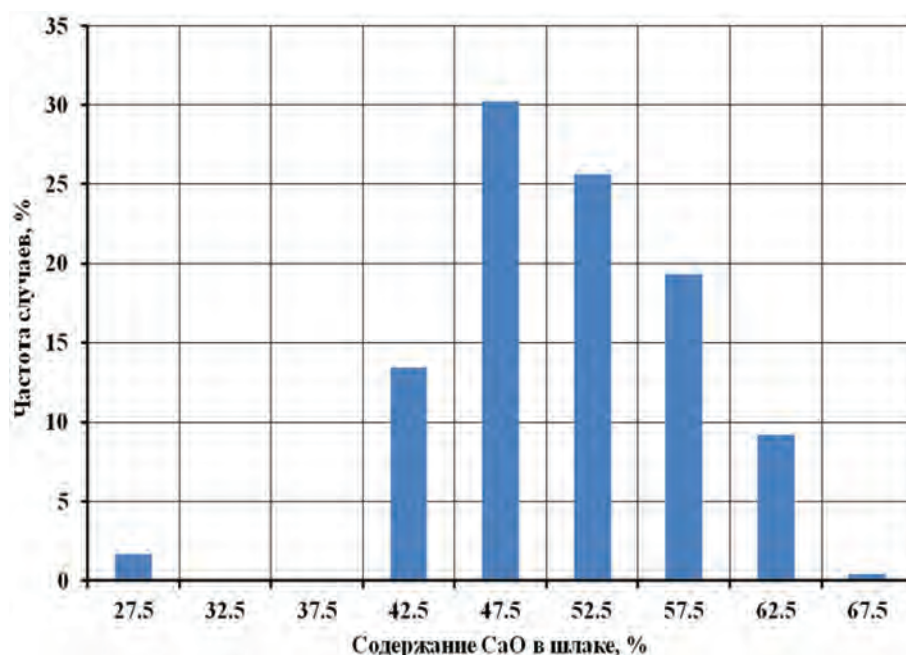


Рис. 4. Диаграмма изменения содержания CaO в рафинировочных шлаках для стали 80К

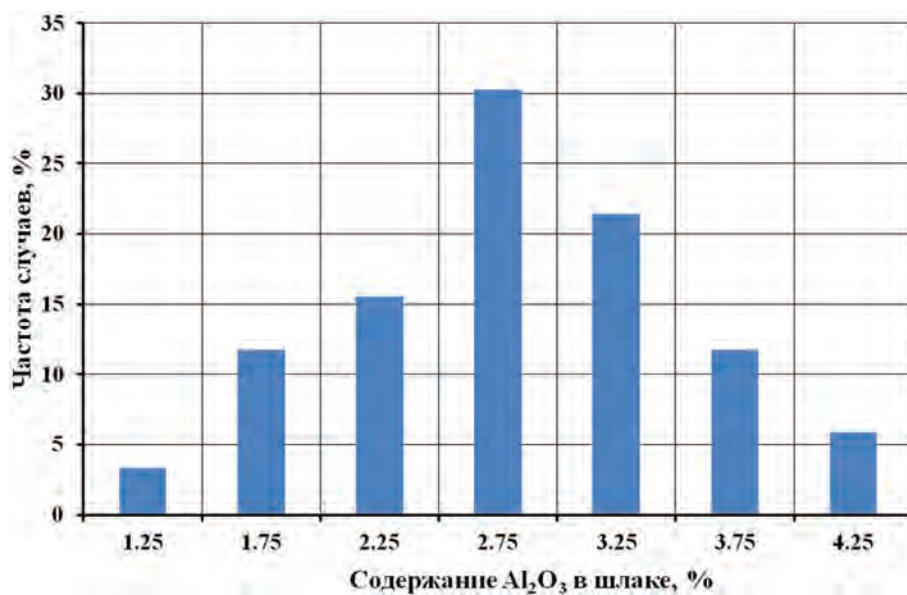


Рис. 5. Диаграмма изменения содержания Al_2O_3 в рафинировочных шлаках для стали 80К

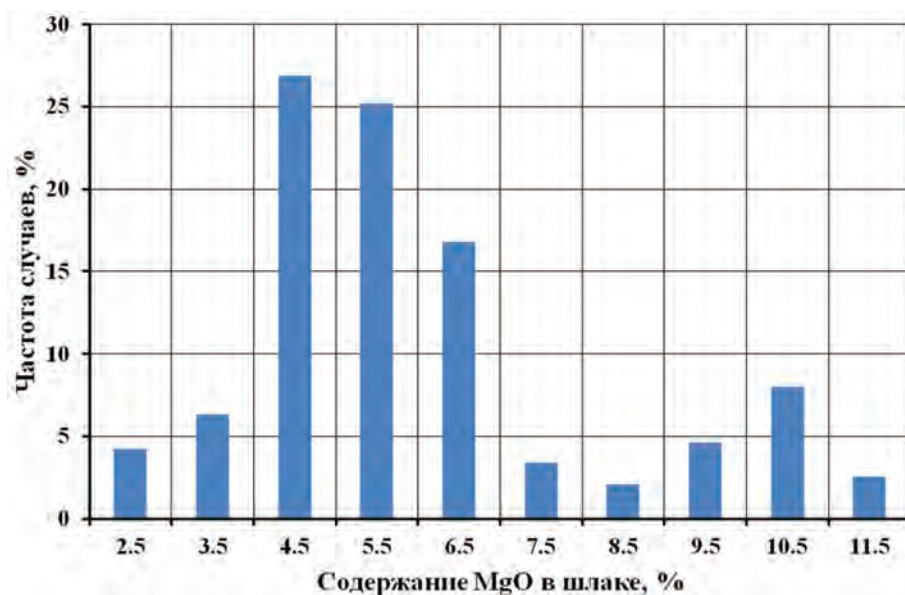


Рис. 6. Диаграмма изменения содержания MgO в рафинировочных шлаках для стали 80К

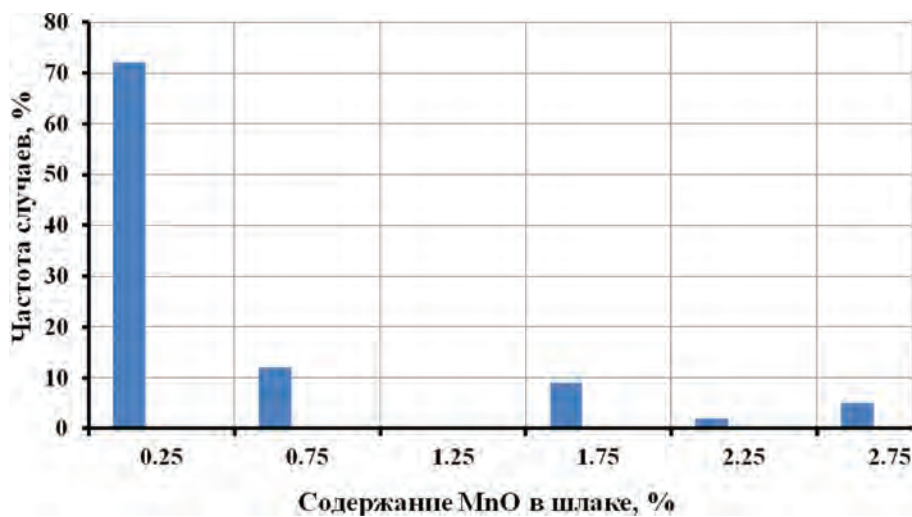


Рис. 7. Диаграмма изменения содержания MnO в рафинировочных шлаках для стали 80К

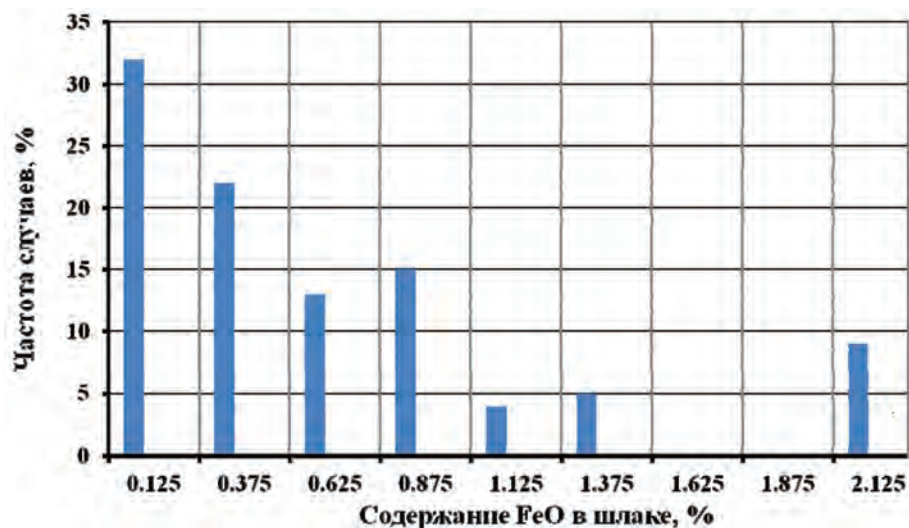


Рис. 8. Диаграмма изменения содержания FeO в рафинировочных шлаках для стали 80К

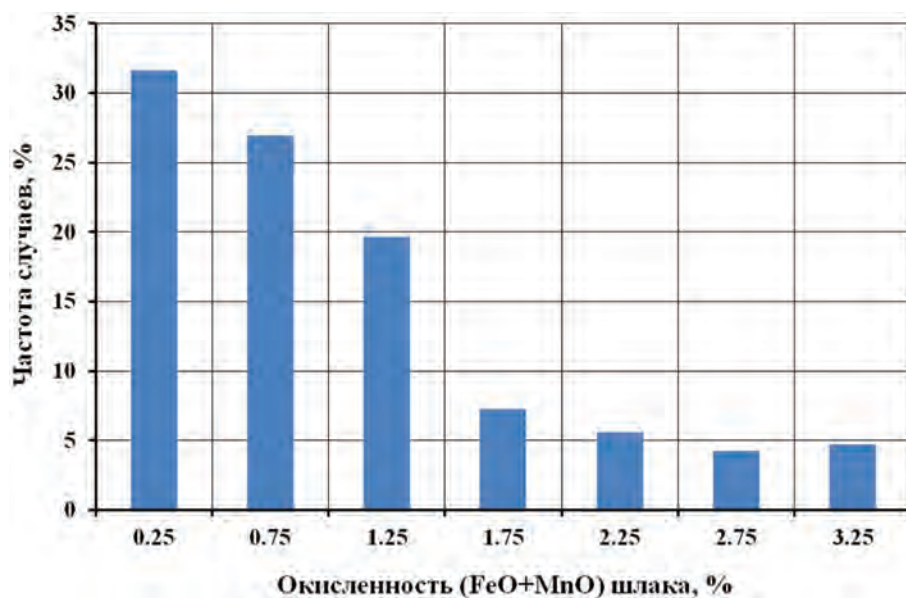


Рис. 9. Диаграмма изменения окисленности (FeO + MnO) рафинировочного шлака для стали 80К

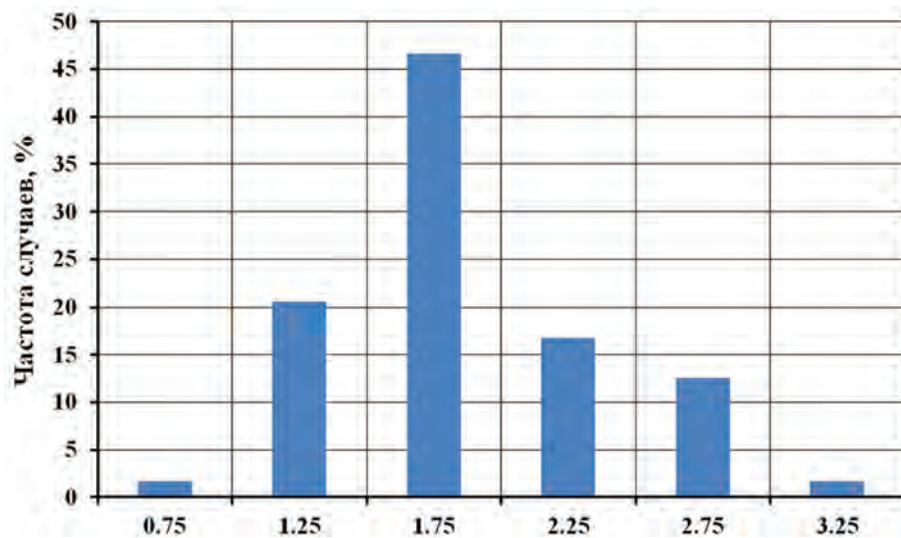


Рис. 10. Диаграмма изменения основности рафинировочного шлака для стали 80К

Распределение содержания CaO в рафинировочных шлаках (рис. 4) полностью подчиняется закону нормального распределения за исключением 2% составов и наибольшее количество случаев приходится на диапазон концентраций 45,0–60,0%, что ниже рекомендуемых в работе [6]. Как следует из рис. 5, распределение концентраций Al_2O_3 в рафинировочных шлаках также подчиняется закону нормального распределения с преобладающим количеством случаев в интервале 2,5–3,5%. Такая низкая концентрация Al_2O_3 в рафинировочных шлаках объясняется спецификой производства кордовой стали из-за опасности ее загрязнения труднодеформируемыми включениями корунда. Этим, очевидно, можно объяснить отличие в 5–6 раз от оптимального содержания данного оксида в рафинировочных шлаках.

В отношении распределения MgO (рис. 6) следует отметить, что в интервале концентраций 2,0–9,0% оно подчиняется закону нормального распределения и максимальное количество случаев приходится на концентрацию 4,0–7,0%, что ниже оптимальных значений. Вместе с тем, около 14% шлаков содержат в своем составе от 9,0 до 12,0% MgO . Отметим, что оксид магния повышает вязкость шлаков и ухудшает процесс десульфурации, но замедляет растворение футеровки ковша в зоне шлакового пояса [8].

Относительно распределения MnO в рафинировочных шлаках (рис. 7) можно отметить, что в подавляющем большинстве случаев (более 72%) содержание MnO не превышает 0,5%. Вместе с тем, ряд составов шлаков (около 16%) имеют содержание оксида марганца от 1,0 до 3,0%. Почти такая же зависимость наблюдается и в отношении содержания в шлаке FeO (рис. 8). Примерно 55% составов шлаков содержат FeO от 0,01 до 0,5%. При этом встречаются составы шлаков с концентрацией FeO от 0,5 до 1,5% (около 37% случаев) и около 9% шлаков содержат более 1,5% FeO , что свидетельствует о плохой раскисленности рафинировочного шлака и значительно превышает оптимальное содержание FeO [6]. Подобная зависимость только без резких колебаний сохраняется и в отношении окисленности рафинировочного шлака (рис. 9). Максимально допустимая концентрация ($\text{FeO} + \text{MnO}$) в оптимальном составе рафинировочного шлака не должна превышать 0,65% [6]. Таким требованиям соответствует только около 50% составов шлаков, а все остальные характеризуются окисленностью от 1,0 до 3,5%.

Диаграмма распределения основности шлака (рис. 10) практически соответствует закону нормального распределения с максимальным количеством случаев (около 45%), приходящихся на основность 1,75. Для оптимального состава рафинировочного шлака основность должна составлять более 2,0 [6]. Такие колебания по содержанию основных компонентов шлака сказываются на стабильности процессов раскисления и десульфурации стали, ее загрязненности неметаллическими включениями и стойкости футеровки сталеразливочного ковша в зоне шлакового пояса. Поэтому необходимо обратить внимание на операцию диффузионного раскисления шлака с целью минимизации содержания в нем оксидов железа и марганца. Вместе с тем, следует отметить, что при использовании составов APC с фракцией менее 1 мм наблюдается повышенное пылегазовыделение и часть раскисляющей смеси сгорает под сводом установки «печь-ковш» или удаляется системой пылегазоочистки, не достигнув поверхности расплава, что затрудняет подачу раскислительной смеси из бункеров непосредственно на шлак по всей обрабатываемой поверхности.

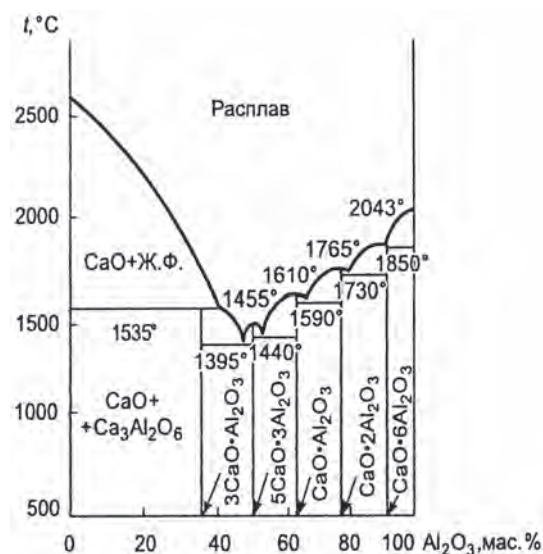


Рис. 11. Диаграмма состояния системы $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ [9]

Учитывая положительное влияние APC на жидкотекучесть рафинировочных шлаков, провели анализ диаграммы состояния $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ [9] (рис. 11). Из рисунка видно, что в системе $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ существуют соединения C_3A ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$), C_5A_3 ($5\text{CaO}\cdot3\text{Al}_2\text{O}_3$), CA ($\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) и CA_2 ($\text{CaO}\cdot2\text{Al}_2\text{O}_3$) с температурами плавления ниже 1600 °C. Данные о сосуществовании фаз и их температурах плавления приведены в табл. 1 [9].

Анализ диаграммы состояния системы $\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$ (рис. 12) показывает, что при определенном соотношении компонентов в шлаке можно обеспечить температуру его плавления значительно ниже 1400 °C. Например, шлак, содержащий 23% Al_2O_3 , 42% SiO_2 и 35% CaO , плавится при температуре 1266 °C, а шлак с содержанием 10% Al_2O_3 , 45% SiO_2 и 45% CaO имеет температуру плавления 1311 °C. Реальные рафинировочные шлаки могут иметь и более низкие температуры плавления вследствие наличия в них других компонентов.

Таблица 1. Состав и температура плавления некоторых сосуществующих фаз системы $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ [9]

Сосуществующие фазы	Процесс	Состав, мас. %		Температура, °C
		CaO	Al_2O_3	
$\text{CaO} + 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{жидкость}$	Инконгруэнтное плавление	57,0	43,0	1535
$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{жидкость}$	Эвтектика	50,0	50,0	1395
$5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{жидкость}$	Плавление	47,8	52,2	1455
$5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{жидкость}$	Эвтектика	47,0	53,0	1440
$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{жидкость}$	Плавление	35,4	64,5	1610
$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{жидкость}$	Эвтектика	33,5	66,5	1590

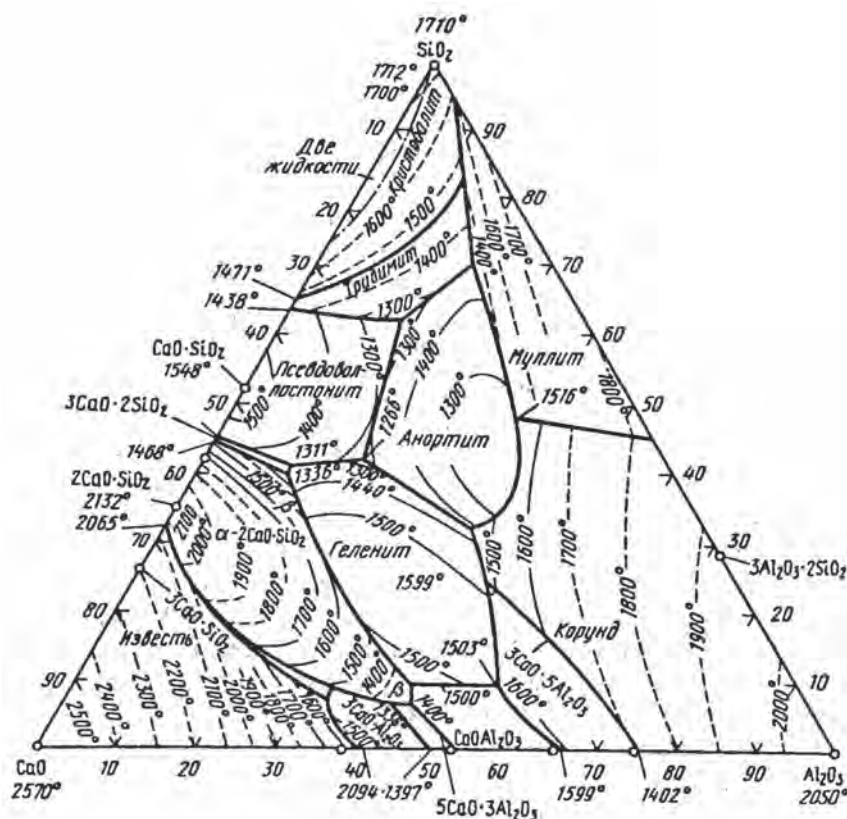


Рис. 12. Диаграмма состояния системы $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ [10]

Авторы работы [11] также отмечают положительное влияние Al_2O_3 на разжижение шлака и повышение стойкости футеровки сталеразливочного ковша и рекомендуют использовать для этих целей глиноземсодержащий материал Рантал 50ГР (производство ООО «РАНТАЛ», г. С.-Петербург) и глиноземсодержащие брикеты (производство ОООИ «РОИС», г. Екатеринбург) (табл. 2).

Таблица 2. Составы глиноземсодержащих материалов для разжижения шлака [11]

Материал	Массовая доля, %										
	TiO_2	$\text{Al}_{\text{мет}}$	Al_2O_3	SiO_2	CaO	MgO	Fe_2O_3	Na ₂ O	K ₂ O	хлориды	примеси
Рантал 50ГР	1,98	—	72,1	20,0	0,71	0,70	2,05	0,52	0,31	—	2,95
Брикеты ОООИ «РОИС»	—	3,3	55,7	6,04	1,91	12,6	2,74	4,3	3,7	8,1	11,9

Таким образом, вводя в рафинировочные шлаки добавки, содержащие CaO с Al_2O_3 , можно регулировать жидкотекучесть шлаков и отказаться от использования плавикового шпата (CaF_2), который является экологически опасным веществом, обладает высокой стоимостью и агрессивно взаимодействует с футеровкой сталеразливочного ковша [11]. По данным работы [4], содержание в шлаках 20–25% Al_2O_3 исключает необходимость использования плавикового шпата для их разжижения. Следует также учитывать, что алюминаты с высоким содержанием кальция (C_3A , C_5A_3) имеют более высокую способность поглощать CaS, чем алюминаты с высоким содержанием глинозема (CA , CA_2), при этом растворимость CaS сильно зависит от температуры [12].

В качестве исходных материалов для получения разжижителей рафинировочного шлака использовали вторичные алюминиевые или отвалы шлаки после длительного хранения на открытом воздухе с добавлением в них отсева извести и связующего. Длительное хранение алюминиевого шлака на открытой площадке способствует окислению остаточного алюминия до Al_2O_3 и вымыванию солей. Гранулирование или прессование полученной смеси с последующей тепловой обработкой позволяет получать материал необходимой прочности, что облегчает его дозирование и ввод в сталеразливочный ковш практически без пыле- и газовыделения. Таким образом, предлагается безотходная технология переработки алюминиевой стружки и шлака с получением металлического алюминия и нового товарного продукта в виде разжижителя рафинировочного шлака.

Литература

1. Гогин В. Б. Современные направления развития технологии рециклинга алюминия (по материалам 3-й конференции «Рециклинг алюминия». М. 29–31 марта 2006 г.) / В. Б. Гогин, Д. А. Шадаев // Технология легких сплавов. 2006. № 4. С. 101–118.
2. Анализ процесса плавки алюминиевой стружки и шлака в короткопламенной роторной печи / Л. В. Трибушевский [и др.] // Литье и металлургия. 2015. № 2. С. 42–48.
3. Влияние состава шихты на себестоимость получаемого сплава при плавке в короткопламенной роторной печи / Л. В. Трибушевский [и др.] // Металлургия: Респ. межвед. сб. науч. тр. Минск: БНТУ, 2015. № 36. С. 151–158.
4. Леонтьев Л. И. Переработка и утилизация техногенных отходов металлургического производства / Л. И. Леонтьев, В. И. Пономарев, О. Ю. Шешуков // Экология и промышленность России. 2016. Т. 20. № 3. С. 24–27.
5. Кудрин В. А. Теория и технология производства стали / В. А. Кудрин. М.: Мир, 2003. 528 с.
6. Производство стали на агрегате «ковш-печь» / Д. А. Дюдкин [и др.]. Донецк: ООО «Юго-Восток, ЛТД», 2003. 300 с.
7. Процессы десульфурации в агрегате печь-ковш с полыми электродами / Е. Б. Агапитов [и др.] // Сталь. 2008. № 8. С. 37–40.
8. Магнезиальные флюсы и особенности их использования при плавке стали / Г. А. Румянцев [и др.] // Металлургия: Респ. межвед. сб. науч. тр. Минск: БНТУ, 2016. № 37. С. 31–37.
9. Бобкова Н. М. Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных материалов / Н. М. Бобкова. Минск: Выш. шк., 2007. 301 с.
10. Воскобойников В. Г. Общая металлургия / В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев. М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. 768 с.
11. Повышение стойкости футеровки агрегатов внепечной обработки стали / А. А. Метелкин [и др.]. Нижний Тагил: НТИ УрФУ, 2015. 144 с.
12. Дюдкин Д. А. Совершенствование технологии использования порошковых проволок в металлургии стали / Д. А. Дюдкин, В. В. Кисиленко, С. Б. Бать // Сталь. 2007. № 8. С. 25–29.

References

1. Gogin V. B., Shadayev D. A. Sovremennyye napravleniya razvitiya tekhnologii retsyklinga alyuminiya (po materialam 3-y konferentsii «Retsikling alyuminiya») [Modern trends in the development of aluminum recycling technology]. *Tekhnologiya legkikh spлавov = Technology of light alloys*. 2006, no 4, pp. 101–118.
2. Tribushevskiy L. V., Nemenenok B. M., Rumyantseva G. A., Rimoshevskiy V. S. Analiz protsessa plavki alyuminievoy struzhki i shlaка v korotkoplamentnoy rotornoy pechi [The analysis of process of melting of aluminium shaving and slag in the short-flame rotor furnace]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2015, no 2, pp. 42–48.
3. Tribushevskiy L. V., Nemenenok B. M., Rumjantseva G. A., Gorbil I. A. Vliyanie sostava shikhty na sebestoimost poluchaemogo splava pri plavke v korotkoplamentnoy rotornoy pechi [Influence of the composition of the charge on the cost of the resulting alloy during melting in a short-flame rotary furnace]. *Metallurgiya: Respublikanskiy mezhvedomstvennyi sbornik nauchnykh trudov = Metallurgy: Republican interdepartmental collection of scientific works*, Minsk, BNTU Publ., 2015, vyp. 36, pp. 151–158.
4. Leont'ev L. I., Ponomarev V. I., Sheshukov O. Yu. Pererabotka i utilizatsiya tekhnogennykh otkhodov metallurgicheskogo proizvodstva [Processing and utilization of industrial wastes of metallurgical production]. *Ekologiya i promyshlennost Rossii = Ecology and industry of Russia*, 2016, vol. 20, no 3, pp. 24–27.
5. Kudrin V. A. *Teoriya i tekhnologiya proizvodstva stali* [Theory and technology of steel production]. Moscow, Mir Publ., 2003. 528 p.
6. Dyudkin D. A., Bat S. Yu., Grinberg S. E., Marintsev S. N. *Proizvodstvo stali na agregate «kovsh-pech»* [Steel production on the ladle furnace unit]. Donetsk, ООО «Yugo-Vostok, LTD» Publ., 2003. 300 p.
7. Agapitov E. V., Bigeev V. A., Erofeev M. M., Pokataeva M. A. Protessy desulfuratsii v agregate pech-kovsh s polymielektrodami [Desulphurization processes in a ladle furnace with hollow electrodes]. *Stal = Steel*, 2008, no 8, pp. 37–40.
8. Rumjantseva G. A., Nemenenok B. M., Tribushevskiy L. V., Gorbil I. A. Magnezialnye flyusy i osobennosti ikh ispolzovaniya pri plavke stali [Magnesia fluxes and features of their use in the melting of steel]. *Metallurgiya: Respublikanskiy mezhvedomstvennyi sbornik nauchnykh trudov = Metallurgy: Republican interdepartmental collection of scientific works*, Minsk, BNTU Publ., 2016, vyp. 37, pp. 31–37.
9. Bobkova N. M. *Fizicheskaya khimiya tugoplavkikh nemetallicheskih i silikatnykh materialov* [Physical chemistry of refractory nonmetallic and silicate materials]. Minsk, Vysheyschaya shkola Publ., 2007, 301 p.
10. Voskoboynikov V. G., Kudrin V. A., Jakushev A. M. *Obshchaya metallurgiya* [General Metallurgy]. Moscow, IKTS «Akademkniga», Publ., 2005. 768 p.
11. Metelkin A. A., Sheshukov O. Yu., Nekrasov I. V., Shevchenko O. I. *Povyshenie stoykosti futerovki agregatov vnepechnoy obrabotki stali* [Increasing the lining stability of the out-of-furnace steel treatment units]. Nizhniy Tagil: NTI UrFU Publ., 2015. 144 p.
12. Dyudkin D. A., Kisilenko V. V., Bat S. V. *Sovershenstvovanie tekhnologii ispolzovaniya poroshkovykh provolok v metallurgii stali* [Perfection of the technology of the use of powder wires in metallurgy of steel]. *Stal = Steel*, 2007, no 8, pp. 25–29.



УДК 669.017+539.216

Поступила 8.11.2017

ОПТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ МИКРОСКОПИИ МЕТАЛЛОВ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

OPTICAL EFFECTS AT METALLIC AND NONMETALLIC MATERIALS MICROSCOPY

*А. Г. АНИСОВИЧ, Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, Беларусь, ул. Купревича, 10.
E-mail: anna-anisovich@yandex.ru*

A. G. ANISOVICH, Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, 10, Kuprevich str. E-mail: anna-anisovich@yandex.ru

Рассмотрены оптические эффекты, возникающие на дефектах поверхности металлов, сплавов и оптически прозрачных материалов, при исследовании при различных способах освещения – светлого и темного поля, а также поляризованного света. Показано, что методы оптического контрастирования позволяют надежно определять дефекты поверхности металлических и неметаллических материалов, а также обнаружить дефекты в объеме оптически прозрачных материалов. Показана связь оптических эффектов с конструктивными особенностями объектива микроскопа при освещении по методу темного поля. Установлено, что при исследовании в поляризованном свете формирование изображения на сферическом дефекте происходит аналогично таковому для одноосного кристалла. Предложено схематическое представление оптических эффектов в различных материалах, позволяющее визуальную классификацию дефектов поверхности.

Optical effects arising on surface defects of metals, alloys and transparent materials are discovered in conditions of various illumination such as dark-field and bright-field illumination as well as polarized light. It is shown that the methods of optical contrasting let it possible to determine surface defects of metallic and nonmetallic materials as well as defects inside optically transparent materials. The connection between optical effects and design features of lens by the use of dark-field illumination was shown. It is established that picture generation of spherical defect came about by analogy to uniaxial crystal by the study using polarized light. The schematic diagram of optical effects for various materials to make visual classification of surface defects is suggested.

Ключевые слова. Темнопольное освещение, поляризованный свет, оптически прозрачные материалы, металлические материалы.

Keywords. Dark-field illumination, polarized light, optically transparent materials, metallic materials.

Развитие технологий требует исследований материалов совершенно разных типов – металлов и сплавов, пластмасс, полимеров, стекол, покрытий и т. д. Кроме того, требуется детальный анализ трансформации структуры при различных видах воздействия на материалы. Все это обеспечивается возможностями современного металлографического оборудования, оснащенного разными средствами оптического контрастирования [1] – освещением по методу темного поля, поляризованным светом и др. Вместе с тем, использование современного оборудования означает получение структурно нагруженных изображений, на которых сочетаются как детали собственно структуры исследуемого материала, так и оптические эффекты разного происхождения. Причиной возникновения этих оптических эффектов могут быть как структурные факторы – ямки травления, включения фаз и границы зерен, так и дефекты структуры – пористость, кавитация, трещины, неметаллические включения. Оптические эффекты при микроскопии отраженного света проявляются в виде световых фигур различного вида и морфологии.

Исследование и описание таких эффектов является, прежде всего, задачей методологической. Достаточно подробно оптические эффекты были в свое время описаны для геологических образцов применительно к микроскопии прозрачных кристаллов [2]. Микроскопия металлических материалов (металлографический анализ) методом «на отражение» тогда не располагала настолько совершенными микроско-

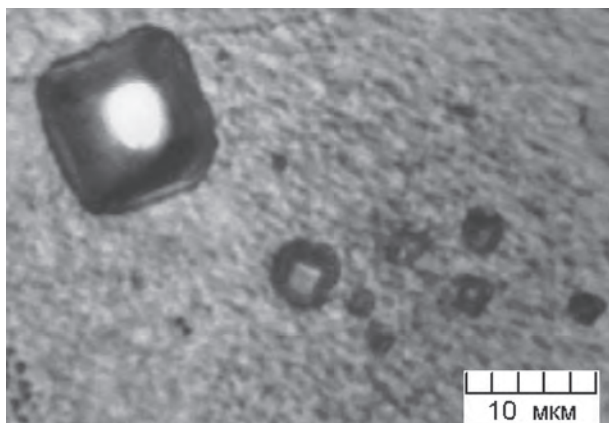


Рис. 1. Ямки травления в литой меди

в процессе металлографического травления. Ямки травления формируются в месте выхода дислокации на поверхность кристалла и закономерно ориентированы относительно кристаллографических направлений. Форма, величина и симметрия ямок травления определяются, помимо симметрии кристалла, составом и природой травящего реактива. Их формирование является достаточно сложным электрохимическим процессом и определяется соотношением скоростей растворения – вертикальной (в глубину), тангенциальной (поверхность), а также растворением на гранях кристалла [5]. Если зародыш растворения растет преимущественно в глубину, то формируется ямка травления, видимая в микроскоп как многогранник (рис. 1).

В идеальном случае ямка травления представляет собой правильную геометрическую фигуру – треугольник, квадрат, параллелограмм. Признаком того, что это действительно ямка травления, является световая (или оптическая) фигура, получаемая в поляризованном свете. В этом случае оптическая фигура аналогична формирующейся при прохождении поляризованного света через одноосный кристалл [6]. При этом наблюдается эффект (рис. 2, *а*), аналогичный явлению «темного креста». Форма его связана с геометрией ямки, которая, в свою очередь, определяется симметрией плоскости, которой принадлежит ямка травления. При совершенной форме ямки травления на ней можно увидеть муаровые узоры, формирующиеся на наклонных поверхностях (рис. 2, *б*).

В некоторых случаях оптическая фигура служит единственным признаком, по которому можно идентифицировать ямки травления. На рис. 3 представлена структура литого сплава Al – 4% Cu после гомогенизации, закалки и старения [7]. На светлом изображении (рис. 3, *а*) внутри зерен видны включения, которые возможно принять за упрочняющую фазу. В поляризованном свете (рис. 3, *б*) по наличию оптических фигур видно, что «включения» представляют собой ямки травления.

Интенсивные внешние воздействия также приводят к появлению на поверхности материалов дефектов различного рода. Если они имеют правильную геометрическую форму, их возможно идентифицировать. На рис. 4 показана металлическая поверхность после воздействия лазера, на которой формируется развитый рельеф, детали которого затруднительно идентифицировать при освещении по методу светлого

пами. В настоящее время возможности оборудования могут и должны давать исчерпывающую информацию не только о структуре, но и о многочисленных дефектах и артефактах, признаками наличия которых являются, в том числе некоторые оптические эффекты, которые надо уметь определять.

Данная статья посвящена демонстрации и описанию оптических эффектов на поверхности металлических и неметаллических образцов при съемке «на отражение» с использованием поляризованного света [3] и освещением по методу «темного поля» [4].

Для металлов и сплавов известными дефектами поверхности являются ямки (или фигуры) травления. Они представляют собой правильно ограниченные углубления, образующиеся на поверхности кристаллов

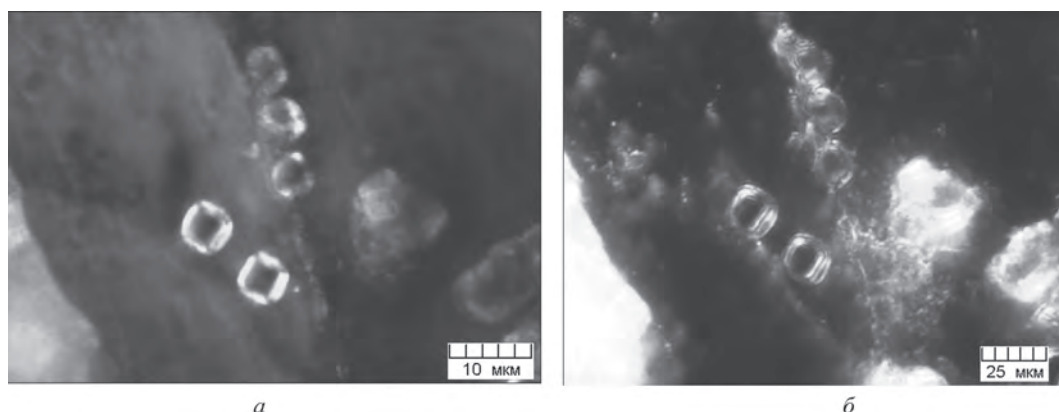


Рис. 2. Оптические фигуры ямок травления в алюминии на плоскости {100}: *а* – поляризованный свет; *б* – темное поле

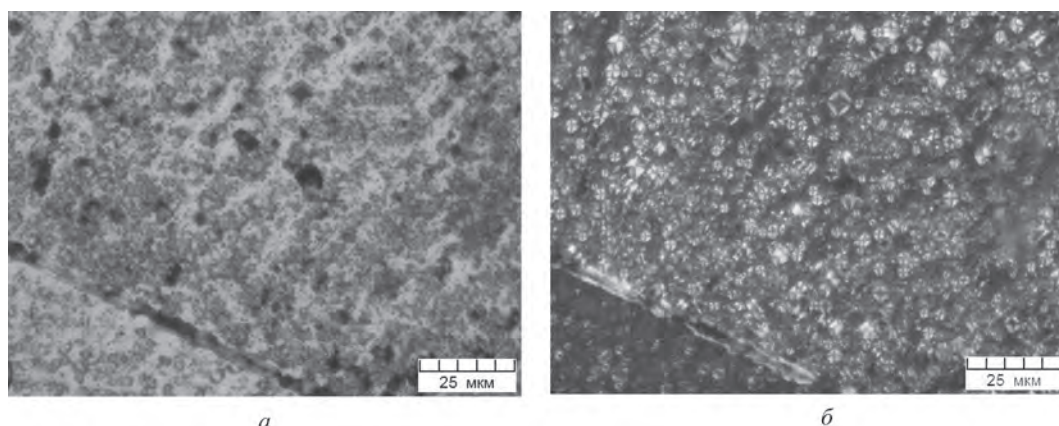


Рис. 3. Ямки травления в структуре сплава Al-4%Cu: *а* – светопольное освещение; *б* – поляризованный свет

поля (рис. 4, *а*). При большом увеличении (рис.4, *б*) в светлом поле на дефекте видны муаровые кольца. В поляризованном свете оптическая фигура от более совершенного по форме дефекта показывает темный крест с интерференционными полосами. Световая фигура аналогична получаемой на прозрачном шаровидном кристаллическом включении при его определенной ориентировке [3].

На дефектах неправильной формы также происходит формирование бликов и световых фигур неправильной формы. На рис. 5 приведены оптические фигуры для пор различной формы, образовавшихся на поверхности при нарушении технологии оксидирования. В поляризованном свете (рис. 5, *а*) на круглой поре наблюдается слабый эффект темного креста; более мелкие поры обнаруживаются по появлению четырех освещенных точек (стрелка). Так выглядят интерференционные кольца коноскопической фигуры при небольшом увеличении. При освещении в темном поле на дефекте правильной формы видны муаровые кольца (рис. 5, *б*).

Используя поляризованный свет, можно сделать выводы о форме прозрачных кристаллических включений. Если неметаллическое включение имеет правильную круглую форму, то на изображении структуры как в светлом, так и в темном поле появляются правильные концентрические муаровые кольца

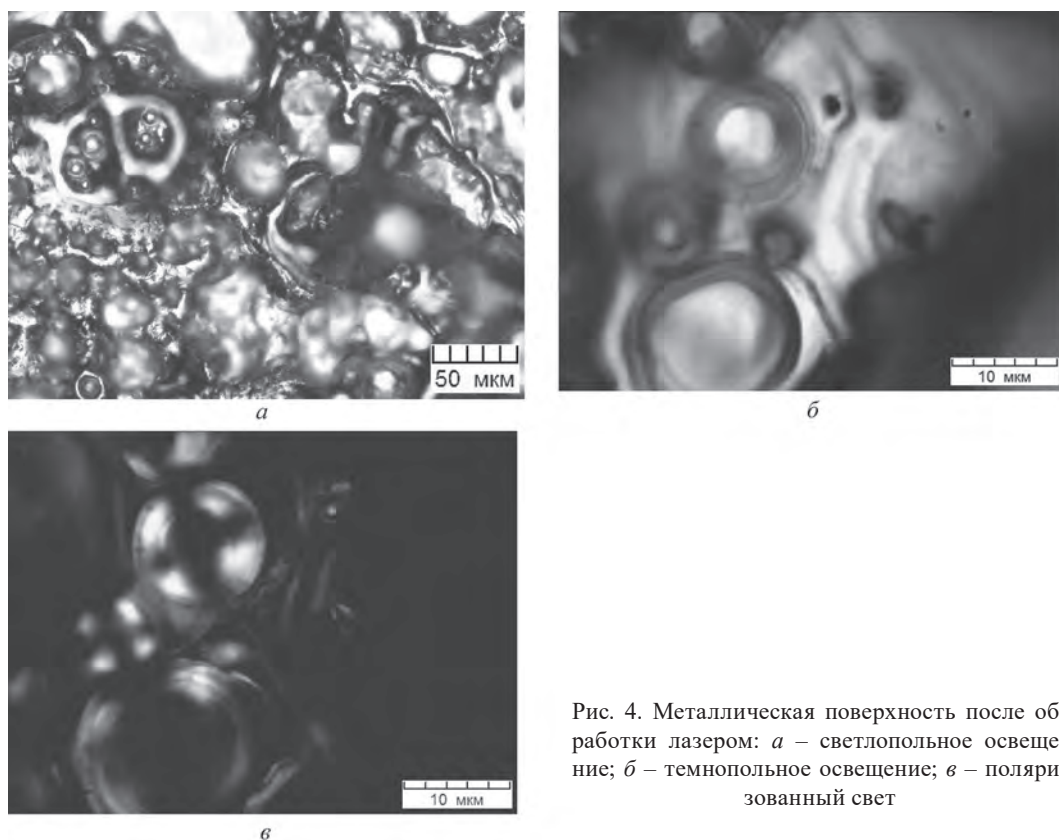


Рис. 4. Металлическая поверхность после обработки лазером: *а* – светопольное освещение; *б* – темнопольное освещение; *в* – поляризованный свет

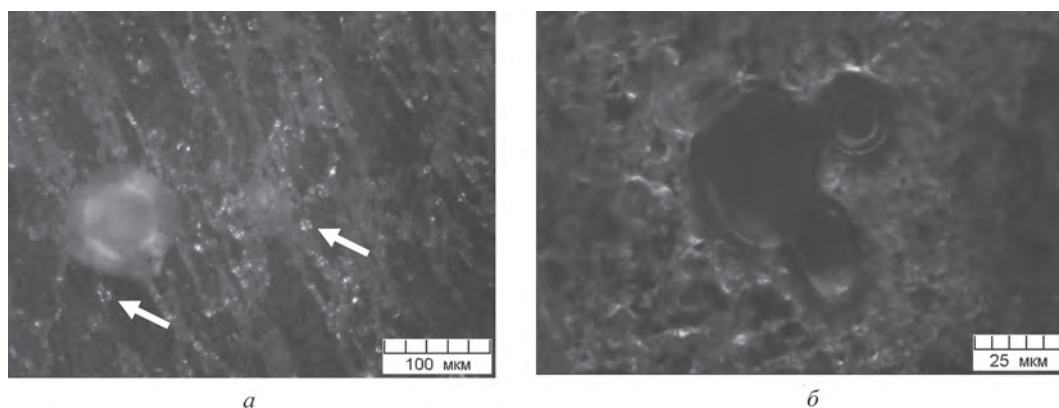


Рис. 5. Оптические фигуры для полусферической поры правильной формы: *а* – поляризованный свет; *б* – темное поле

ца, связанные с интерференцией лучей, отраженных от внутренней поверхности включения [3]. В поляризованном свете при скрещенных николях наблюдается эффект темного креста.

Оптические эффекты в окрашенных сферических включениях имеют аналогичные признаки, но, тем не менее, имеют некоторые особенности. В светлом поле муаровые полосы не наблюдаются (рис. 6, *а*), но, возможно, они просто не видны на фоне светлой металлической матрицы. В темном поле (рис. 6, *б*) муаровые полосы формируются в зоне наибольшей кривизны включения (периферическая часть); натуральный цвет включения при этом сохраняется. При освещении поляризованным светом эффект темного креста незначителен (рис. 6, *в*), хотя оптическая ось включения параллельна оси объектива (крест расположен в центре изображения включения). Очевидно, нечеткость световой фигуры связана с низкой прозрачностью включения. Применение поляризованного света позволяет заметить также, что, помимо крупного включения, в структуре присутствуют включения помельче (стрелка); интерференционные круги на оптической фигуре не видны и она воспринимается как совокупность четырех точек. В светлом поле такое включение воспринимается как дефект травления. В несферическом включении при освещении по методу темного поля формируется муаровый узор.

Эпоксидная смола является основой некоторых композиционных материалов. Формирование из нее твердого материала происходит в процессе длительного твердения после перемешивания, в процессе

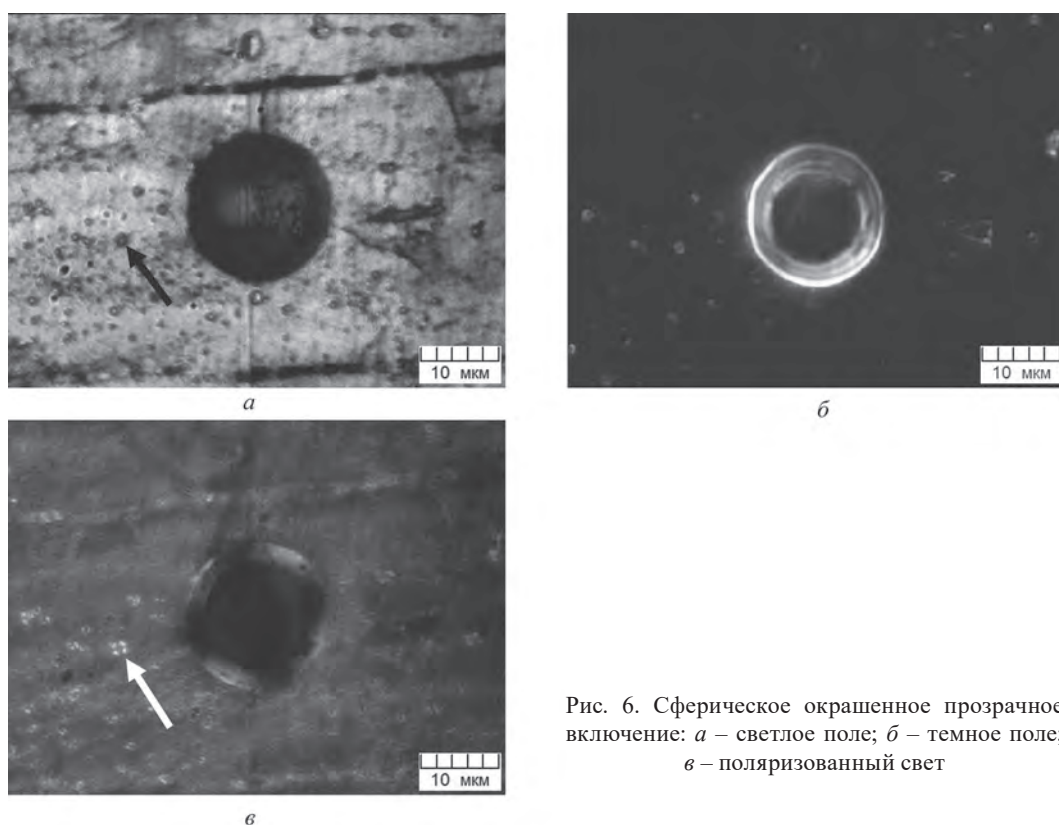


Рис. 6. Сферическое окрашенное прозрачное включение: *а* – светлое поле; *б* – темное поле; *в* – поляризованный свет

чего формируется неоднородная макроструктура. Дефектами такой структуры является пористость различной морфологии и дисперсности. Поскольку эпоксидная смола – оптически прозрачный материал, такого рода дефекты участвуют в формировании изображения при микроскопических исследованиях и применительно к данному объекту могут рассматриваться как артефакты. При этом существенно, на какой глубине данный артефакт формируется. При формировании сферической поры на поверхности материала (при диаметральном пересечении поры плоскостью поверхности) идентификация ее не представляет трудностей. В темном поле оптическая картина представляет собой чередующиеся окружности муарового узора.

В светлом поле сферические поры в объеме материала выглядят темными пятнами, четкость которых зависит от глубины залегания (рис. 7, *а*). В темном поле формируется специфическая световая фигура (рис. 7, *б*), частично представляющая собой проекцию конструктивного элемента объектива. Изображение проекции на плоскость светового пятна объектива при освещении по методу темного поля сформировано двумя освещенными кольцами [8]. Внутреннее кольцо представляет собой интерференционное

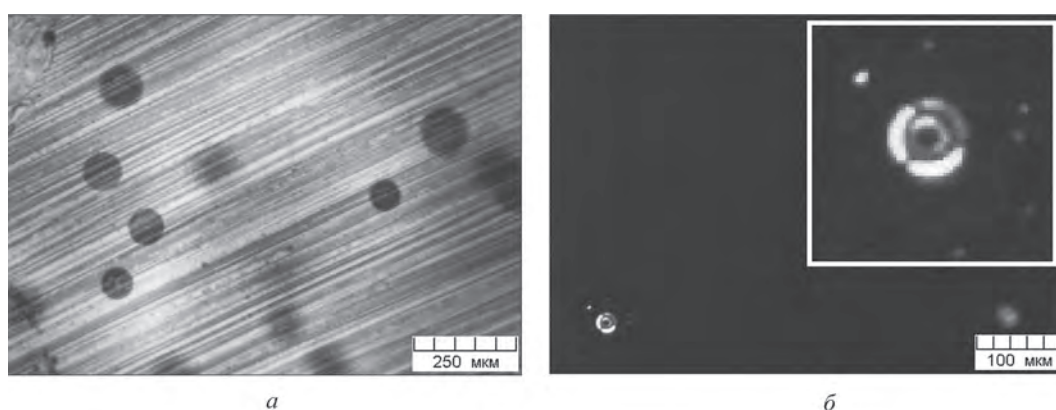


Рис. 7. Световые фигуры в эпоксидной смоле; поверхность шлифована и очищена: *а* – светлое поле; *б* – темное поле

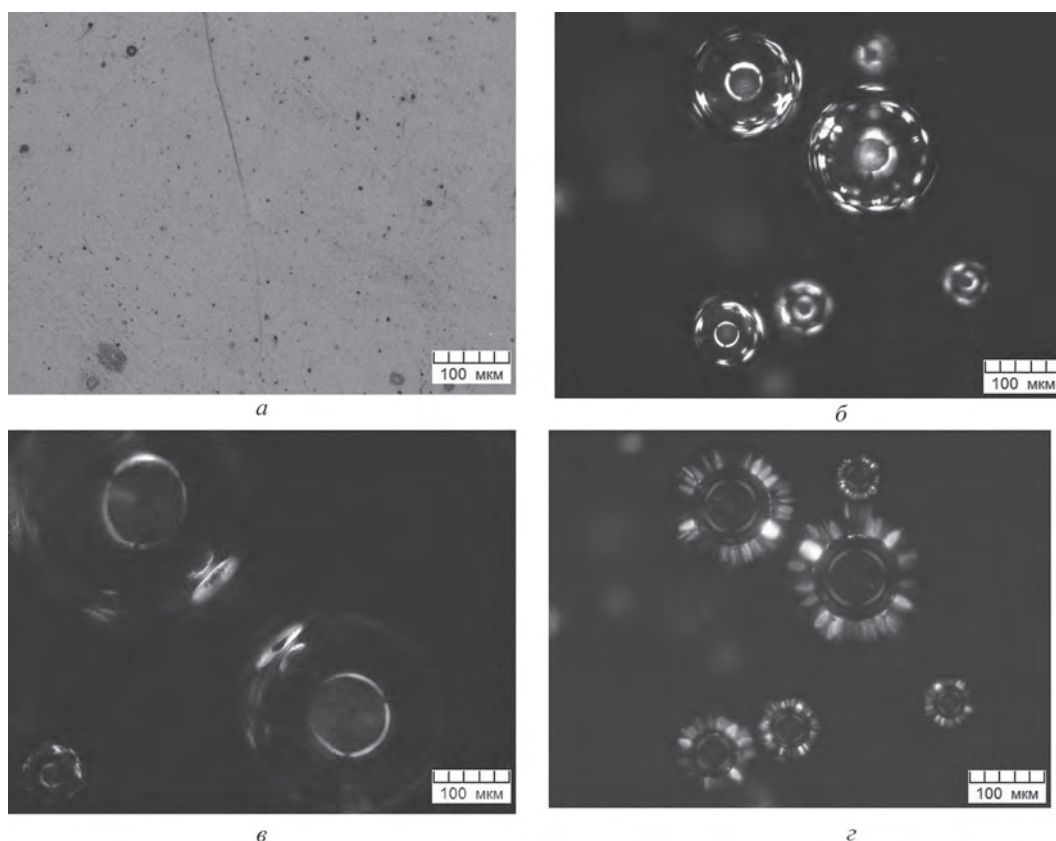


Рис. 8. Внутренняя пористость в оптически прозрачном материале: *а* – фокусировка на поверхность, светлое поле; *б*, *в* – темное поле, фокусировка на подповерхностные слои; *г* – поляризованный свет

кольцо за счет взаимодействия света с кольцевой внешней кромкой объектива. Внешнее кольцо, разделенное на три равных сегмента, является изображением крепления во внутренней части объектива для введения диафрагмы темного поля.

В зависимости от оптических свойств материала в нем возможно формирование оптических фигур различного вида. В эпоксидной смоле ЭД20 внутренние дефекты (рис. 8, а) не видны в светлом поле при фокусировке на поверхность. При фокусировке на подповерхностные слои проявляется оптический эффект от внутренних сферических дефектов (рис. 8, б). В темном поле в центре оптической фигуры находится изображение крепежного элемента объектива: периферическая часть оптической фигуры представлена световыми пятнами, расположенными на окружностях. При фокусировке на дефект (при максимальной резкости изображения в центре оптической фигуры) световые пятна трансформируются

Схематическое изображение оптических эффектов

Дефект	Светлое поле	Темное поле	Поляризованный свет
Прозрачное сферическое включение			
Прозрачное несферическое включение			
Полусферическая пора (поверхность)			
Несферическая пора (поверхность)			
Внутренняя сферическая пора	нет		
Ямки травления (пример для плоскостей {100})			

в кольцевые эффекты, визуально расположенные на диаметрах оптической фигуры (рис. 8, в). По-видимому, кольцевой эффект возникает в том случае, когда центры дефектов находятся на одной линии, параллельной поверхности.

При использовании поляризованного света (рис. 8, г) на месте дефекта формируется оптическая фигура, состоящая из темного креста в центре фигуры с неосвещенным центром, а также радиально расположенных лучей; при этом максимум освещенности находится напротив соседнего дефекта.

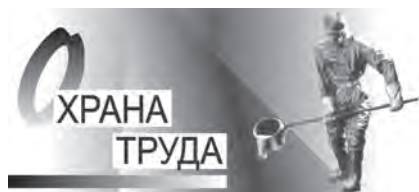
Представленное выше описание оптических эффектов позволяет систематизировать оптические эффекты и предложить их схематическое представление (см. таблицу).

Литература

1. Анисович А. Г. Искусство металлографии: использование методов оптического контрастирования // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 2016. № 1. С. 36–42.
2. Четвериков С. Д. Методика кристаллооптических исследований шлифов. М.: Госгеониздат, 1949. 157 с.
3. Анисович А. Г. Применение поляризованного света в анализе металлов и сплавов / А. Г. Анисович // Литье и металлургия. 2012. № 3(67). С. 146–151.
4. Анисович А. Г., Румянцева И. Н. Искусство металлографии: возможности использования темнопольного изображения для анализа структуры металлов: Сб. материалов 4-й междунар. науч.-техн. конф. «Современные методы и технологии создания и обработки материалов». Минск, 19–21 октября 2009 г. Кн. 1. С. 7–12.
5. Пшеничнов Ю. П. Выявление тонкой структуры кристаллов: справ. М.: Металлургия, 1974. 528 с.
6. Анисович А. Г., Румянцева И. Н. Практика металлографического исследования материалов. Минск: Беларуская навука, 2013. 221 с.
7. Тофпенец Р. Л., Анисович А. Г. Роль теплового и деформационного факторов в формировании структуры при термоциклировании сплава Al–Cu // Изв. РАН. Металлы. 2003. № 2. С. 30–34.
8. Анисович А. Г. Оптические эффекты при микроскопии неметаллических материалов // Литье и металлургия. 2017. № 1. С. 110–114.

References

1. Anisovich A. G. Art of metallography: application of optical staining methods. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of physical-technical sciences*, 2016, no. 1, pp. 36–42.
2. Chetverikov S. D. *The study of section by the methods of crystal optics*. Moscow, Gosgocizdat Publ., 149. 157 p.
3. Anisovich A. G. The use of polarized light in the analysis of metals and alloys. *Foundry production and metallurgy*, 2012, no. 3, pp. 146–151.
4. Anisovich A. G., Rumiantseva I. N. Art of metallography: the possibilities of dark field image used for metals structure analysis. *Collected articles 4 International scientific-technical conference «Advanced Methods and Technologies of Materials Development and Processing»*. Minsk, 19–21 oktober 2009, pp. 7–12.
5. Pchenichnov Ju. P. *Revelation of fine structure of crystals*. Moscow, Metallurgy Publ., 1974.
6. Anisovich A. G., Rumiantseva I. N. *Practice of materials metallographic examination*. Minsk, Belaruskaja navuka Publ., 2013. 221 p.
7. Tofpenetz R. L., Anisovich A. G. The roles of factors of heat and deformation in Al–Cu structure formation by thermal cycling. *Russian metallurgy (Metally)*, 2003, no. 2, pp. 30–34.
8. Anisovich A. G. Optical effects at nonmetallic materials microscopy. *Foundry production and metallurgy*, 2017, no. 1, pp. 111–114.



УДК 621.74:658

Поступила 20.11.2017

ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АТТЕСТАЦИИ РАБОЧИХ МЕСТ ПО УСЛОВИЯМ ТРУДА НА ОАО «БМЗ – УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БМК»

APPLICABILITY OF THE RESULTS OF CERTIFICATION OF WORKPLACES ON WORKING CONDITIONS AT OJSC «BSW – MANAGEMENT COMPANY OF HOLDING «BMC»

И. В. КОРОТКЕВИЧ, Е. П. ПАЙКОВА, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл. Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: eng2.onot@bmz.gomel.by

V. I. KOROTKEVICH, E. P. PAJKOVA, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin city, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: eng2.onot@bmz.gomel.by

Актуальность проведения аттестации рабочих мест по условиям труда на предприятии. Цели проведения аттестации. Функции аттестационной комиссии. Перечень рабочих мест, подлежащих аттестации. Гарантии, предоставляемые работникам по результатам аттестации рабочих мест. Анализ результатов аттестации рабочих мест по условиям труда. Применение результатов аттестации.

Обосновывается актуальность проведения аттестации рабочих мест по условиям труда и по результатам проведенной аттестации наниматель определяет условия труда на конкретном рабочем месте, разрабатывает план мероприятий по их улучшению. Только по результатам аттестации можно сказать, имеет ли право работник на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда, дополнительный отпуск за работу с вредными и (или) опасными условиями труда, сокращенную продолжительность рабочего времени, оплату труда в повышенном размере путем установления доплат за работу с вредными и (или) опасными условиями труда, аттестация устанавливает обязанности нанимателя по профессиональному пенсионному страхованию работников.

Urgency of carrying out certification of workplaces on working conditions at the enterprise. The purpose of certification. Functions of the Certification Commission. The list of workplaces being approved as subject to certification. Guarantees provided to employees according to the results of certification of workplaces. Analysis of the results of certification of workplaces on working conditions. The use of assessment results.

The urgency of carrying out of certification of workplaces on working conditions and on the results of the certification, the employer determines the conditions of labour at a specific workplace, develops a plan of measures for their improvement. Only by results of certification it is possible to tell whether the right of the employee to old-age pension for work with special working conditions, additional leave for work with harmful and (or) hazardous working conditions, shorter working time, wages increased by establishing additional payments for work with harmful and (or) dangerous working conditions, certification establishes the duties of the employer under occupational pension insurance for employee

Ключевые слова. Аттестация рабочих мест по условиям труда, карта аттестации рабочего места, фотография рабочего времени, рабочее место, условия труда, вредные производственные факторы, тяжесть и напряженность трудового процесса, перечни рабочих мест, Список № 1, Список № 2, класс условий труда, компенсации.

Keywords. Certification of workplaces according to working conditions, the certification card of workplace, photography of working time, working place, working conditions, harmful industrial factors, severity and intensity of labor process, lists of jobs, List No. 1, List No. 2, class of working conditions, compensation.

В настоящее время порядок проведения аттестации рабочих мест по условиям труда определен постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 22 февраля 2008 г. № 253 «Об аттестации рабочих мест по условиям труда» с последующими изменениями и дополнениями, а оценка условий труда при аттестации – Инструкцией по оценке условий труда при аттестации рабочих мест по условиям труда и предоставлению компенсаций по ее результатам, утвержденной постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 22 февраля 2008 г. № 35 с изменениями.

Согласно Положению о порядке проведения аттестации рабочих мест по условиям труда, утвержденному постановлением № 253, аттестация проводится в целях выявления на конкретном рабочем месте работника, занятого на нем полный рабочий день, факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса, воздействующих на работоспособность и здоровье работающего в процессе трудовой деятельности, разработки и реализации плана мероприятий по улучшению условий труда на рабочих местах с вредными и (или) опасными условиями труда, определения права работника на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда, сокращенную продолжительность рабочего времени за работу с вредными и (или) опасными условиями труда, дополнительный отпуск за работу с вредными и (или) опасными условиями труда, оплату труда в повышенном размере путем установления доплат за работу с вредными и (или) опасными условиями труда, а также для определения обязанностей нанимателя по профессиональному пенсионному страхованию работников в соответствии с Законом Республики Беларусь от 5 января 2008 года «О профессиональном пенсионном страховании» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2008 г., N 16, 2/1419) (далее – обязанности нанимателя по профессиональному пенсионному страхованию работников) (п. 2 в ред. постановления Совмина от 19.10.2016 N 839).

Работу по аттестации следует начинать с издания приказа о проведении аттестации и утверждения состава аттестационной комиссии, определения ее полномочий, назначения председателя аттестационной комиссии и лица, ответственного за ведение и хранение документов по результатам аттестации. При необходимости создаются аттестационные комиссии в структурных подразделениях. Устанавливаются сроки и график проведения работ по аттестации в организации (структурных подразделениях).

В состав аттестационной комиссии рекомендуется включать работников служб охраны труда, кадровой, юридической, организации труда и заработной платы, промышленно-санитарной лаборатории, руководителей структурных подразделений организации, медицинских работников, представителей профсоюза (профсоюзов).

Проведение аттестации осуществляет аттестационная комиссия, а также организационное, методическое руководство и контроль за ее ходом. Формирует необходимую для проведения аттестации нормативную правовую базу и организует ее изучение. Определяет перечень рабочих мест, подлежащих аттестации. Устанавливает соответствие наименования профессий рабочих и должностей служащих Общегосударственному классификатору Республики Беларусь «Профессии рабочих и должности служащих» и характера фактически выполняемых работ характеристикам работ, приведенным в соответствующих выпусках Единого тарифно-квалификационного справочника работ и профессий рабочих (ЕТКС) и Единого квалификационного справочника должностей служащих (ЕКСД). При наличии имеющихся несоответствий подготавливает предложения о внесении изменений в штатное расписание, трудовые книжки работников и другие документы в порядке, установленном законодательством.

Аттестационная комиссия определяет исполнителей для:

1. Измерения и исследования уровней вредных и опасных факторов производственной среды из числа собственных аккредитованных испытательных лабораторий или привлекает на договорной основе другие аккредитованные испытательные лаборатории.

2. Оценки условий труда по показателям тяжести и напряженности трудового процесса из числа собственных специалистов нанимателя или привлекает на договорной основе юридическое лицо (индивидуального предпринимателя), аккредитованное (аккредитованного) в соответствии с законодательством на оказание услуг в области охраны труда по проведению аттестации (далее – аккредитованное лицо).

3. Составления карты аттестации рабочего места по условиям труда по форме, утверждаемой Министерством труда и социальной защиты, из числа специалистов нанимателя или привлекает на договорной основе аккредитованное лицо.

4. Заполнения документов по результатам аттестации в электронном виде из числа специалистов нанимателя или привлекает на договорной основе аккредитованное лицо.

5. Осуществляет самостоятельно или с привлечением специалистов нанимателя:

- 5.1. Обследование перед началом измерений и исследований уровней вредных и (или) опасных факторов производственной среды и оценки условий труда по показателям тяжести и напряженности трудового процесса рабочих мест в целях проверки на соответствие производственного оборудования и технологических процессов требованиям охраны труда с принятием мер по устранению выявленных недостатков; результаты обследования и запланированные (принятые) меры по устранению выявленных недостатков оформляются протоколом по форме, утверждаемой Министерством труда и социальной защиты;

5.2. составление фотографии рабочего времени и оформление карты фотографии рабочего времени по форме, утверждаемой Министерством труда и социальной защиты;

5.3. формирование перечня вредных и (или) опасных производственных факторов, подлежащих исследованию на конкретном рабочем месте, по форме, утверждаемой Министерством труда и социальной защиты.

Аттестационная комиссия организует ознакомление работников с документами по результатам аттестации.

В перечень рабочих мест, подлежащих аттестации, включаются профессии (должности) и виды работ (независимо от результатов предыдущей аттестации), которые предусмотрены:

- Списком производств, работ, профессий, должностей и показателей на подземных работах, на работах с особо вредными и особо тяжелыми условиями труда, занятость в которых дает право на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда, а также Списком производств, работ, профессий, должностей и показателей на работах с вредными и тяжелыми условиями труда, занятость в которых дает право на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда, утвержденными постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 25 мая 2005 г. N 536 «О списках производств, работ, профессий, должностей и показателей, дающих право на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2005 г., N 87, 5/16012).

- Перечнем текстильных производств и профессий для целей профессионального пенсионного страхования работниц текстильного производства, занятых на станках и машинах, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 9 октября 2008 г. N 1490 «О некоторых вопросах профессионального пенсионного страхования» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2008 г., N 249, 5/28508).

- Разделом I перечня учреждений, организаций и должностей для целей профессионального пенсионного страхования медицинских и педагогических работников, утвержденного постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 9 октября 2008 г. N 1490.

- Списком производств, цехов, профессий и должностей с вредными и (или) опасными условиями труда, работа в которых дает право на сокращенную продолжительность рабочего времени, установленным постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 7 июля 2014 г. N 57 «О некоторых вопросах предоставления компенсации по условиям труда в виде сокращенной продолжительности рабочего времени» (Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 25.07.2014, 8/28922).

По решению аттестационной комиссии в перечень рабочих мест, подлежащих аттестации, включаются иные рабочие места при условии:

- наличия на рабочих местах вредных и (или) опасных факторов производственной среды выше предельно допустимых концентраций и (или) предельно допустимых уровней, обусловленных технологическим процессом, подтвержденных протоколами измерений и исследований уровней вредных и опасных факторов производственной среды;

- занятости работников на работах с вредными и (или) опасными условиями труда в течение полного рабочего дня и подтверждения данных условий результатами предыдущей аттестации.

В соответствии с п. 4 Инструкции аттестация рабочих мест по условиям труда проводится на рабочих местах работников, занятых с вредными и (или) опасными условиями труда полный рабочий день.

Полный рабочий день – выполнение работ с вредными и (или) опасными условиями труда работниками в соответствии с их тарифно-квалификационными (квалификационными) характеристиками, приведенными в Едином тарифно-квалификационном справочнике работ и профессий рабочих (далее – ЕТКС) и Едином квалификационном справочнике должностей служащих (далее – ЕКСД) не менее 80 % от продолжительности ежедневной работы (смены), установленной законодательством.

При этом в 80 % от продолжительности ежедневной работы (смены), установленной законодательством, включаются подготовительно-заключительное время; оперативное время (основное и вспомогательное) и время обслуживания рабочего места в пределах установленных нормативов времени; время регламентированных перерывов, включаемых в рабочее время. (Методические рекомендации по установлению норм и нормативов для нормирования труда рабочих, утвержденные постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 26 ноября 2004 г. № 134, глава 7).

По результатам аттестации устанавливается класс (степень) вредности или опасности условий труда на рабочем месте.

Всего существуют четыре класса (степени) условий труда. Исходя из влияния на здоровье работника, вредные и (или) опасные воздействия можно условно разделить на группы:

- оптимальные (1-й класс) – нормальные условия, которые допускаются абсолютно для всех категорий работников;
- допустимые (2-й класс) – условия труда, при которых нарушения в организме человека естественным способом восстанавливаются к наступлению следующей рабочей смены;
- вредные (3-й класс) – условия, воздействие которых на работника может привести к заболеванию или снижению работоспособности и (или) отрицательному влиянию на здоровье потомства. Восстановление организма происходит позднее, чем наступает следующая рабочая смена, день. Третий класс имеет четыре степени опасности (3.1; 3.2; 3.3; 3.4);
- опасные (4-й класс) – условия, воздействие которых на работника может привести к травме, внезапному резкому ухудшению здоровья или смертельному исходу (наличие вредных веществ в пространстве рабочей зоны, наличие шума, вибрации и др.).

При оптимальных и допустимых условиях труда компенсации работникам не предоставляются.

В ходе проведения аттестации подлежат оценке все присутствующие на рабочем месте вредные и опасные факторы производственной среды, тяжесть и напряженность трудового процесса, обусловленные технологическим процессом, применяемом на конкретном рабочем месте оборудованием, выполнением работы, предусмотренной в Едином тарифно-квалификационном справочнике работ и профессий рабочих для профессии и Едином квалификационном справочнике должностей служащих для должности, должностной (рабочей) инструкцией, трудовым договором.

Измерения и исследования уровней вредных и опасных факторов производственной среды для аттестации проводятся испытательными лабораториями, аккредитованными в соответствии с требованиями системы аккредитации Республики Беларусь.

Измерения уровней вредных и опасных факторов производственной среды проводятся в присутствии представителя аттестационной комиссии при ведении производственных процессов в соответствии с технологической документацией при исправных, эффективно действующих средствах защиты и характерных производственных условиях.

Результаты измерений и исследований уровней вредных и опасных факторов производственной среды и результаты количественных измерений и расчетов показателей тяжести трудового процесса для аттестации оформляются протоколами по формам, утверждаемым Министерством труда и социальной защиты.

Сведения о результатах оценки условий труда заносятся в карту аттестации рабочего места по условиям труда и удостоверяются подписями членов аттестационной комиссии и ее председателя. Допускается составление одной карты аттестации рабочего места по условиям труда на группу аналогичных по характеру выполняемых работ и условиям труда рабочих мест. При проведении оценки условий труда по показателям тяжести и напряженности трудового процесса с привлечением аккредитованного лица оформленные протоколы количественных измерений и расчетов показателей тяжести и напряженности трудового процесса, карты аттестации рабочего места по условиям труда удостоверяются подписями проводивших ее специалистов.

К карте аттестации рабочего места по условиям труда прилагаются:

- карта фотографии рабочего времени, протоколы измерений и исследований уровней вредных и опасных факторов производственной среды для аттестации;
- протоколы количественных измерений и расчетов показателей тяжести и напряженности трудового процесса.

По итогам аттестации (по формам, утверждаемым Министерством труда и социальной защиты) составляются:

- перечень рабочих мест по профессиям и должностям, на которых работающим по результатам аттестации подтверждены особые условия труда, соответствующие требованиям Списка № 1 и Списка № 2, и влекущие обязанности нанимателя по профессиональному пенсионному страхованию работников;
- перечень рабочих мест работников текстильных профессий, на которых по результатам аттестации подтверждены условия труда, соответствующие требованиям перечня текстильных производств, и влекущие обязанности нанимателя по профессиональному пенсионному страхованию работников;
- перечень рабочих мест медицинских работников, на которых по результатам аттестации подтверждены условия труда, соответствующие разделу I перечня учреждений, организаций и должностей для

целей профессионального пенсионного страхования медицинских и педагогических работников, и влекущие обязанности нанимателя по профессиональному пенсионному страхованию работников;

- перечень рабочих мест по профессиям и должностям, на которых работающим по результатам аттестации подтверждены вредные и (или) опасные условия труда, соответствующие требованиям списка производств, цехов, профессий и должностей с вредными и (или) опасными условиями труда, работа в которых дает право на сокращенную продолжительность рабочего времени;

- перечень рабочих мест по профессиям и должностям, на которых работающим по результатам аттестации подтверждено право на дополнительный отпуск за работу с вредными и (или) опасными условиями труда;

- перечень рабочих мест по профессиям и должностям, на которых работающим по результатам аттестации подтверждено право на доплаты за работу с вредными и (или) опасными условиями труда;

- перечень рабочих мест по профессиям и должностям, на которых по результатам аттестации не подтверждены условия труда, дающие право на сокращенную продолжительность рабочего времени за работу с вредными и (или) опасными условиями труда, дополнительный отпуск за работу с вредными и (или) опасными условиями труда, оплату труда в повышенном размере путем установления доплат за работу с вредными и (или) опасными условиями труда, а также влекущие обязанности нанимателя по профессиональному пенсионному страхованию работников;

- план мероприятий по улучшению условий труда на рабочих местах с вредными и (или) опасными условиями труда.

Перечни рабочих мест, план мероприятий по улучшению условий труда на рабочих местах с вредными и (или) опасными условиями труда, согласованные с профсоюзом (профсоюзами), утверждаются приказом нанимателя.

Аттестация считается завершенной и ее результаты применяются с даты издания приказа нанимателя об утверждении результатов аттестации.

Работники, на рабочих местах которых проводилась аттестация, должны быть ознакомлены с итоговыми документами по результатам аттестации (карта аттестации рабочего места по условиям труда, приказ нанимателя) под роспись.

В документы по результатам аттестации, за исключением случаев проведения внеочередной аттестации (переаттестации), вносятся изменения и (или) дополнения на основании заключений и предписаний органов государственной экспертизы условий труда; решения аттестационной комиссии о необходимости внесения в указанные документы изменений и (или) дополнений в целях приведения наименований профессий (должностей), структурных подразделений в соответствие со штатным расписанием (структурой) организации.

Внесение данных изменений и (или) дополнений оформляется соответствующим приказом нанимателя.

Нанимателем в месячный срок после издания приказа об утверждении аттестации (внесении изменений и (или) дополнений в документы по результатам действующей аттестации) предоставляются в управления (отделы) государственной экспертизы условий труда комитетов по труду, занятости и социальной защите областных и Минского городского исполнительных комитетов по месту регистрации нанимателя документы по результатам аттестации в электронном виде, сформированные посредством автоматизированной информационной системы мониторинга условий труда на производстве, в порядке, определяемом Министерством труда и социальной защиты.

Документами по результатам аттестации являются приказ об организации и проведении аттестации, приказ об организации и проведении внеочередной аттестации (переаттестации), приказ об утверждении аттестации, приказ об утверждении внеочередной аттестации (переаттестации), перечни рабочих мест, план мероприятий по улучшению условий труда на рабочих местах с вредными и (или) опасными условиями труда, карты фотографии рабочего времени, карты аттестации рабочего места по условиям труда, протоколы измерений и исследований уровней вредных и опасных факторов производственной среды, протоколы количественных измерений и расчетов показателей тяжести и напряженности трудового процесса, копия аттестата аккредитации на право проведения измерений и оценки условий труда привлекаемой для проведения этой работы организации с приложением, характеризующим область ее аккредитации, а также другие документы. Документы по результатам аттестации, необходимые для определения права работника на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда и установления обязанностей нанимателя по профессиональному пенсионному страхованию, хранятся нанимателем в течение 75 лет.

При ликвидации организации документы по результатам аттестации передаются на хранение в архив в установленном законодательством порядке.

Внеочередная аттестация (переаттестация) проводится в обязательном порядке по требованию органов государственной экспертизы условий труда, а также в течение шести месяцев после:

- замены или модернизации производственного оборудования, замены сырья и материалов, изменения технологического процесса и средств коллективной защиты;
- реализации плана мероприятий по улучшению условий труда на рабочих местах с вредными и (или) опасными условиями труда;
- изменения условий труда работников при наличии инициативы нанимателя или профсоюза (профсоюзов) о проведении аттестации.

Внеочередная аттестация (переаттестация) считается завершенной и ее результаты применяются с даты издания приказа об утверждении внеочередной аттестации (переаттестации). Это позволит оперативно определить эффективность мер по модернизации производства и улучшению условий труда, обоснованность компенсаций, оперативно отменить такие компенсации и, тем самым, снизить себестоимость продукции. Результаты внеочередной аттестации (переаттестации) действуют в течение пяти лет.

Аттестация на вновь созданных рабочих местах проводится по мере освоения производственных мощностей в соответствии с утвержденными проектами о новом строительстве и реконструкции объектов производственного назначения. Приказ нанимателя об утверждении аттестации должен быть издан в 6-месячный срок со дня создания новых рабочих мест.

Результаты аттестации, проведенной на новых рабочих местах, применяются со дня создания этих рабочих мест, если они подтверждают право работника на дополнительный отпуск за работу с вредными и (или) опасными условиями труда, на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда, устанавливают обязанности нанимателя по профессиональному пенсионному страхованию работников.

Доплаты за работу с вредными и (или) опасными условиями труда, сокращенная продолжительность рабочего времени за работу с вредными и (или) опасными условиями труда устанавливаются с даты издания приказа нанимателя об утверждении аттестации, проведенной на новых рабочих местах.

Срок действия результатов аттестации составляет пять лет. Приказ об утверждении очередной аттестации должен быть издан в день, следующий за последним днем действия результатов предыдущей аттестации.

Если день утверждения очередной аттестации приходится на нерабочий день, то приказ о ее утверждении должен быть издан в рабочий день, непосредственно предшествующий дню утверждения очередной аттестации.

В случае изменения существенных условий наниматель обязан предупредить работника об изменении существенных условий труда письменно не позднее, чем за один месяц.

В качестве письменного предупреждения работника об изменении существенных условий труда может быть подписанное руководителем или уполномоченным должностным лицом нанимателя уведомление, с которым необходимо ознакомить работника под роспись с указанием даты ознакомления. При этом основанием для подготовки такого уведомления в случае аттестации могут являться карта аттестации рабочего места по условиям труда (карта) и протокол аттестационной комиссии о завершении работы по аттестации (протокол), которые относятся к итоговым документам аттестации (п. 104 Инструкции).

Гарантии, предоставляемые работникам, по результатам аттестации рабочих мест:

- дополнительный отпуск за работу с вредными и (или) опасными условиями труда;
- сокращенная продолжительность рабочего времени за работу с вредными и (или) опасными условиями труда;
- доплата за работу с вредными и (или) опасными условиями труда (далее – доплата);
- досрочная пенсия (пенсия по возрасту за работу с особыми условиями труда или досрочная профессиональная пенсия).

Основным правилом предоставления любой из перечисленных компенсаций является занятость работника во вредных и (или) опасных условиях труда полный рабочий день. При этом полным считается рабочий день, когда работник занят в таких условиях не менее 80 % от продолжительности ежедневной работы (смены), установленной законодательством, а не принятой непосредственно самим нанимателем. Например, наниматель в ЛНПА установил продолжительность рабочего дня 6 ч, когда для данной категории работников законодательством предусмотрен восьмичасовой рабочий день. Соответственно

наниматель должен определять 80% рабочего времени занятости во вредных и (или) опасных условиях труда из расчета восьмичасового рабочего дня.

Основным нюансом доплаты по результатам аттестации является то, что она не предоставляется тем категориям работников, которым в соответствии с актами законодательства установлена повышенная оплата труда за особый характер работ. Это касается преимущественно работников здравоохранения.

Часто возникает вопрос по аттестации рабочих мест по совмещаемым профессиям.

Совмещение профессий (должностей) – выполнение наряду со своей основной работой, обусловленной трудовым договором, дополнительной работы по другой профессии (должности).

Совмещение профессий (должностей), расширение зоны обслуживания или увеличение объема выполняемых работ, выполнение наряду со своей основной работой обязанностей временно отсутствующего работника допускается у одного и того же нанимателя с согласия работника в течение установленной законодательством продолжительности рабочего дня (смены), если это экономически целесообразно и не ведет к ухудшению качества продукции, выполняемых работ или обслуживания населения.

Если совмещение осуществляется в пределах одной и той же категории работников, то в отношении рабочих речь идет о совмещении профессий, а в отношении руководителей, специалистов и служащих – о совмещении должностей. Если работник наряду со своей основной работой, обусловленной трудовым договором, выполняет дополнительный объем работ по одной и той же профессии или должности, то речь идет о расширении зоны обслуживания или увеличении объема выполняемых работ. Под расширением зоны обслуживания и увеличением объема выполняемых работ понимается выполнение наряду со своей основной работой, обусловленной трудовым договором (контрактом), дополнительного объема работ по той же профессии (должности).

При занятости работника полный рабочий день с вредными и (или) опасными условиями труда в рамках совмещаемых профессий (оформлено в соответствии с законодательством) аттестация проводится следующим образом:

1. Если один день работник занят по одной профессии полный рабочий день, а другой день – по второй профессии полный рабочий день, то в данном случае проводится аттестация на двух рабочих местах.

2. Если работник выполняет работы с вредными и (или) опасными условиями труда по основной и совмещаемой профессиям в течение одного рабочего дня (смены), заполняется одна карта аттестации рабочего места по условиям труда с указанием основной и совмещаемой профессий. Оценка факторов производственной среды в этом случае производится как при выполнении работ в различных рабочих зонах.

Компенсации за работу с вредными и (или) опасными условиями труда в рамках совмещаемых профессий предоставляются по результатам аттестации в установленном законодательством порядке.

Справочно. *Совместительство* – выполнение работником в свободное от основной работы время другой постоянно оплачиваемой работы у того же или у другого нанимателя на условиях трудового договора (ст. 343 Трудового кодекса Республики Беларусь).

В соответствии со ст. 345 ТК продолжительность рабочего времени при работе по совместительству не может превышать половины нормальной продолжительности рабочего времени, установленной ст. 111-114 ТК.

Кроме того, следует обратить внимание, что в ч. 2 ст. 348 ТК установлен запрет на работу по совместительству лиц моложе восемнадцати лет; на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, если по основной работе и работе по совместительству законодательством предусмотрена сокращенная продолжительность рабочего времени.

В дни, когда по основному месту работы работник свободен от исполнения трудовых обязанностей, он может работать по совместительству полный рабочий день (смену), при этом продолжительность рабочего времени за учетный период не должна превышать половины нормы рабочего времени, установленной законодательством.

Работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда в течение полного рабочего дня на условиях внешнего (внутреннего) совместительства (оформлено в соответствии с законодательством с учетом ограничений, установленных ст. 345, 348 ТК), компенсации по результатам аттестации устанавливаются в полном объеме.

В иных случаях аттестация не проводится.

На ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» в 2016 г. была проведена аттестация рабочих мест по условиям труда согласно Положению о порядке проведения аттестации рабочих мест по ус-

ловиям труда, утвержденному постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 22 февраля 2008 г. № 253 «Об аттестации рабочих мест по условиям труда» с последующими изменениями и дополнениями и в соответствии с требованиями Инструкции по оценке условий труда при аттестации рабочих мест по условиям труда и предоставлению компенсаций по ее результатам, утвержденной постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 22 февраля 2008 г. № 35 с изменениями.

Для проведения аттестации на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» была создана заводская аттестационная комиссия. Под председательством начальников структурных подразделений были созданы цеховые аттестационные комиссии, что позволило более оперативно и своевременно решать вопросы, возникающие в процессе проведения аттестации.

На предприятии были задействованы силы собственной аккредитованной промышленно-санитарной лаборатории, специалисты которой добросовестно и качественно провели замеры уровней вредных производственных факторов на рабочих местах.

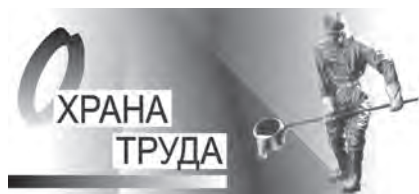
Анализ результатов аттестации представлен в таблице.

Таблица

Классы условий труда	Аттестовано рабочих мест в 2011 (предыдущая аттестация)	Аттестовано рабочих мест в 2016	Отклонение 2016 к 2011
Всего аттестовано	9719	9502	–217
в том числе:			
по классу 1	30	6	–24
по классу 2	863	576	–287
по классу 3.1	1870	1938	68
по классу 3.2	3021	3006	–15
по классу 3.3	3675	3662	–13
по классу 3.4	260	260	0
Подтвердили Список № 1	1578	1546	–32
из них:			
Список № 1 (класс условий 3,3)	1318	1286	–32
Список № 1 (класс условий 3,4)	260	260	0
Подтвердили Список № 2	3715	3721	6
из них:			
Список № 2 (класс условий 3,2)	1633	1619	–14
Список № 2 (класс условий 3,3)	2082	2102	20

Проведенный анализ показывает, что произошли незначительные изменения в результатах аттестации рабочих мест по условиям труда по сравнению с предыдущей аттестацией (2011 г.). Данные изменения произошли за счет проведенной за последние годы модернизации, которая положительно сказалась на условиях и безопасности труда работников, уровень вредных факторов на рабочих местах был снижен. Еще одной причиной, повлиявшей на уровень вредных факторов, стало выполнение плана мероприятий по улучшению условий труда, разработанного по результатам предыдущей аттестации рабочих мест по условиям труда.

Начиная с 2014 г. работники ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», которым предоставлено законодательно право отказаться от профессиональной пенсии (в данной ситуации работник теряет право как на досрочную, так и на дополнительную пенсию, по достижении общеустановленного пенсионного возраста у него возникнет право на пенсию по возрасту на общих основаниях) получают ежемесячную доплату к заработной плате согласно указу Президента Республики Беларусь от 25.09.2016 № 441 «О некоторых вопросах профессионального пенсионного страхования и пенсионного обеспечения». На предприятии разработано положение «О ежемесячной доплате к заработной плате за специальный стаж». По состоянию на 01.07.2017 г. ежемесячную доплату к заработной плате за специальный стаж получают 1837 человек.



УДК 621.74:658.382

Поступила 14.11.2017

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА РАБОТАЮЩИХ В ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХАХ С МАССОВЫМ ХАРАКТЕРОМ ПРОИЗВОДСТВА

ASSESSMENT OF WORKING CONDITIONS IN FOUNDRIES WITH THE MASS PRODUCTION

А. М. ЛАЗАРЕНКОВ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. Тел. +375-29-669-90-98

A. M. LAZARENKOV, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. Tel. +375-29-669-90-98

Приведены результаты оценки условий труда на рабочих местах различных участков литейных цехов с массовым характером производства, для которых разработана классификация рабочих мест по условиям труда.

The results of the assessment of working conditions at workplaces of various parts of foundries with the mass character of production, for which classification of workplaces by labor conditions were developed.

Ключевые слова. Условия труда, рабочее место, литейный цех, характер производства.

Keywords. Working conditions, working place, the foundry shop, the nature of production.

Условия труда работающих в литейных цехах определяются комплексом производственных факторов (содержание вредных веществ и пыли, шум, вибрация, параметры микроклимата), которые с учетом многообразия типов оборудования, разветвленной транспортной сетью, значительным количеством трудоемких операций, выполняемых вручную и требующих большого физического напряжения, неблагоприятно воздействуют на литейщиков и способствуют повышению производственного травматизма и развитию профессиональных заболеваний, а также увеличению общей заболеваемости.

Оценку условий труда работающих в литейных цехах проводили с использованием результатов аттестации рабочих мест по условиям труда. Фактические значения факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса сопоставляли с гигиеническими нормативами и устанавливали класс условий труда. Общую оценку условий труда по классу (степени) проводили на основании оценок по всем факторам производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса и устанавливали по наиболее высокому классу и степени вредности.

Профессии работающих в литейных цехах в основном относятся к спискам № 1 и 2, дающих право на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда. Анализ результатов исследований условий труда литейщиков на ряде предприятий Республики Беларусь позволил определить ряд особенностей и разработать классификацию рабочих мест по условиям труда в литейных цехах с массовым характером производства (см. таблицу). В таблице приведены классы условий труда с учетом фактических значений факторов производственной среды, времени воздействия их на работающих, показателей тяжести и напряженности трудового процесса. Учитывая, что в литейном производстве используется значительное количество технологических процессов в таблице указаны усредненные классы условий труда. Поэтому необходимо в каждом конкретном случае учитывать применяемые технологические процессы и производственное оборудование, характер производства и другие факторы, определяющие каждый отдельно взятый литейный цех или участок. В литейных цехах с массовым характером производства используемое оборудование работает практически непрерывно, что особенно важно при определении класса опасности каждого производственного фактора.

На смесеприготовительных участках основными профессиями работающих являются земледел, сушильщик стержней, форм и формовочных материалов, мастер участка. В комплекс производственных факторов, определяющих условия труда, входят уровень шума (в основном класс 3.1), уровень общей

технологической вибрации (находится в пределах допустимой – класс 2), запыленность воздуха рабочей зоны (в основном класс 3.1, на рабочем месте земледеля возможен класс 3.2), содержание в воздухе рабочей зоны вредных веществ (как правило, класс 2), температура воздуха (в основном класс 2, на рабочем месте сушильщика исходных материалов класс 3.1), интенсивность тепловых излучений (в основном класс 2, на рабочем месте сушильщика исходных материалов возможен класс 3.1). По тяжести и напряженности трудового процесса указанные выше профессии оцениваются классом 2. Общая оценка условий труда названных профессий смесеприготовительных участков определяется классом 3.2 (за исключением профессии мастера участка - класс 3.1), который дает данным работающим право на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда по списку № 2.

Классификация рабочих мест по условиям труда в литейных цехах с массовым характером производства

Участок литейных цехов, профессия работающего	Класс условий труда на рабочих местах (с учетом времени воздействия)								
	производственные факторы						тяжесть трудового процесса	напряженность трудового процесса	общая оценка
	шум	вибра- ция	пыль	вредные вещества	инфракрасные излучения	температура воздуха			
Смесеприготовительный участок									
Земледел	3.2 (3.1)	2	3.1 (3.2)	2	2	2	2	2	3.2
Сушильщик стержней, форм и формовочных материалов	3.1	2	3.1	2	3.1	2 (3.1)	2	2	3.2
Мастер участка	3.1	2	3.1	2	2	2	2	2	3.1
Стержневой участок									
Стерженщик машинной формовки	3.2	2	3.1	3.1	2	2	3.1	2	3.2
Стерженщик машинной формовки (изготовление стержней по нагреваемой оснастке)	3.2	2	3.1	3.1	2 (3.1)	2 (3.1)	3.1	2	3.2
Контролер в литейном производстве	3.1	2	3.1	2 (3.1)	2	2	2	2	3.1 (3.2)
Мастер участка	3.1	2	3.1	2	2	2	2	2	3.1
Формовочный участок									
Формовщик машинной формовки	3.2	2	3.1	2	2	2	3.1	2	3.2
Сборщик форм	3.1	2	3.1	2	2	2	3.1	2	3.2
Транспортировщик в литейном производстве	3.1	2	3.1	2	2	2	3.1	2	3.2
Мастер участка	3.1	2	3.1	2	2	2	2	2	3.1
Шихтовый участок									
Шихтовщик	3.1	2	3.1	2	2	2	3.1	3.1	3.2
Завальщик шихты	3.2	2	3.1	2	2	2	3.1	3.1	3.2
Мастер участка	3.1	2	3.1	2	2	2	2	2	3.1
Плавильно-заливочный участок									
Плавильщик металла и сплавов	3.2 (3.1)	2	3.1	3.1	3.2	3.2	3.1	2	3.3
Завальщик шихты в вагранки и печи	3.2	2	3.1	3.1	3.1	3.2	3.1	2	3.3
Вагранщик	3.2	2	3.1	3.1	3.2	3.2	3.1	2	3.3
Огнеупорщик	3.1	2	3.1	3.1	3.1	3.2	3.1	2	3.2
Заливщик металла	3.1 (3.2)	2	3.1	3.1	3.2	3.2	3.1	2	3.3
Литейщик металлов и сплавов	3.1	2	3.1	3.1	3.2	3.2	3.1	2	3.3
Мастер участка	3.2	2	3.1	3.1	3.1	3.2	2	2	3.3
Выбивной участок									
Выбивальщик отливок	3.3	2	3.1 (3.2)	2	3.1	2	3.1	2	3.3
Транспортировщик в литейном производстве	3.2	2	3.1	2	2	2	3.1	2	3.2
Обрубочно-очистной участок									
Обрубщик	3.2 (3.3)	3.2	3.1	2	2	2	3.1	2	3.3
Наждачник	3.2 (3.3)	3.1	3.1	2	2	2	3.1	2	3.2 (3.3)
Мастер участка	3.2	2	3.1	2	2	2	2	2	3.2
Чистильщик металла, отливок, изделий и деталей	3.2	3.1	3.1	2	2	2	3.1	2	3.2
Стропальщик	3.2	2	3.1	2	2	2	3.1	2	3.2

На стержневых участках основными профессиями работающих являются стерженщик машинной формовки, контролер в литейном производстве, мастер участка. В комплекс производственных факторов, определяющих условия труда, входят уровень шума (в основном класс 3.1, на рабочем месте стерженщика машинной формовки – класс 3.2), уровень общей технологической вибрации (класс 2), запыленность воздуха рабочей зоны (класс 3.1), содержание в воздухе рабочей зоны вредных веществ (класс 3.1), температура воздуха (в основном класс 2, на рабочем месте стерженщика машинной формовки при изготовлении стержней по нагреваемой оснастке класс 3.1), интенсивность тепловых излучений (в основном класс 2, на рабочем месте стерженщика машинной формовки при изготовлении стержней по нагреваемой оснастке класс 3.1). По тяжести и напряженности трудового процесса указанные выше профессии оцениваются классом 2 (стерженщик – класс 3.1). Общая оценка условий труда названных профессий стержневых участков определяется классом 3.2 (за исключением профессии мастера участка – класс 3.1).

На формовочных участках основными профессиями работающих являются формовщик машинной формовки, сборщик форм, транспортировщик в литейном производстве, мастер участка. В комплекс производственных факторов, определяющих условия труда, входят уровень шума (в основном класс 3.1, на рабочем месте формовщика машинной формовки – класс 3.2), уровень общей технологической вибрации (находится в пределах допустимой – класс 2), запыленность воздуха рабочей зоны (класс 3.1), содержание в воздухе рабочей зоны вредных веществ, температура воздуха и интенсивность тепловых излучений (класс 2). По тяжести и напряженности трудового процесса указанные выше профессии оцениваются классом 3.1 (мастер – класс 2). Общая оценка условий труда названных профессий определяется классом 3.2 (за исключением профессии мастера участка, рабочее место которого оценивается классом 3.1).

На шихтовых участках основными профессиями работающих являются шихтовщик, завальщик шихты, мастер участка. В комплекс производственных факторов, определяющих условия труда, входят уровень шума (в основном класс 3.1, на рабочем месте завальщика шихты – класс 3.2), уровень общей технологической вибрации (находится в пределах допустимой – класс 2), запыленность воздуха рабочей зоны (класс 3.1), содержание в воздухе рабочей зоны вредных веществ, интенсивность тепловых излучений и температура воздуха (класс 2). По тяжести и напряженности трудового процесса профессии шихтовщика и завальщика оцениваются классом 3.1 (мастер – класс 2). Общая оценка условий труда названных профессий шихтовых участков определяется классом 3.2 (за исключением профессии мастера участка, рабочее место которого оценивается классом 3.1).

На плавно-заливочных участках основными профессиями работающих являются вагранщик, завальщик шихты в вагранки и печи, плавильщик металла и сплавов, литейщик металлов и сплавов, огнеупорщик, заливщик металла, мастер участка. В комплекс производственных факторов, определяющих условия труда, входят уровень шума (в основном класс 3.1, на рабочих местах вагранщика, завальщика, заливщика металла, плавильщика металла и сплавов, мастера участка – класс 3.2), уровень общей технологической вибрации (класс 2), запыленность воздуха рабочей зоны и содержание в воздухе рабочей зоны вредных веществ (класс 3.1), температура воздуха (класс 3.2), интенсивность тепловых излучений (класс 3.1, на рабочих местах плавильщика, вагранщика, заливщика металла, литейщика металла и сплавов – класс 3.2). По тяжести трудового процесса указанные выше профессии оцениваются классом 3.1, а по напряженности трудового процесса – классом 2. Общая оценка условий труда названных профессий плавно-заливочных участков определяется классом 3.3 (за исключением профессии огнеупорщика – класс 3.2).

На выбивных участках основными профессиями работающих являются выбивальщик отливок и транспортировщик в литейном производстве. В комплекс производственных факторов, определяющих условия труда, входят уровень шума (на рабочем месте выбивальщика отливок – класс 3.3, а транспортировщика – класс 3.2), уровень локальной вибрации, содержание в воздухе рабочей зоны вредных веществ и температура воздуха (класс 2), запыленность воздуха рабочей зоны (в основном класс 3.1), интенсивность теплового излучения (класс 2, на рабочем месте выбивальщика – класс 3.1). По тяжести трудового процесса профессии оцениваются классом 3.1, а по напряженности трудового процесса – классом 2. Общая оценка условий труда на рабочем месте выбивальщика отливок – класс 3.3, а транспортировщика – класс 3.2.

На обрубочно-очистных участках основными профессиями работающих являются обрубщик, наждачник, чистильщик металла, отливок, изделий и деталей, стропальщик, мастер участка. В комплекс

производственных факторов, определяющих условия труда, входят уровень шума (в основном класс 3.2, на рабочем месте обрубщика и наждачника – класс 3.3), уровень общей технологической вибрация (класс 2), уровень локальной вибрации на рабочем месте обрубщика оценивается классом 3.2, на рабочих местах наждачника и чистильщика отливок – классом 3.1, запыленность воздуха рабочей зоны (в основном класс 3.1), содержание в воздухе рабочей зоны вредных веществ, температура воздуха и интенсивность тепловых излучений (класс 2). По тяжести трудового процесса указанные выше профессии оцениваются классом 3.1 (мастер – класс 2), а по напряженности трудового процесса – классом 2. Общая оценка условий труда названных профессий обрубочно-очистных участков определяется классом 3.2 (профессия обрубщика – классом 3.3).

При аттестации рабочих мест необходимо проводить тщательные фотохронометражные наблюдения рабочего времени, так как работники пребывают в течение рабочего дня на различных участках литейных цехов, где имеют место производственные факторы с разными абсолютными значениями.

Таким образом, комплексная оценка условий труда рабочих мест литейных профессий может быть проведена объективно только при учете всех этапов применяемых технологических процессов, типов используемого литейного оборудования, времени нахождения в различных условиях и воздействия всего комплекса производственных факторов, тяжести и напряженности трудового процесса. Это позволит разработать и реализовать мероприятия по улучшению условий труда работающих в литейном производстве и объективно определить право работника на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда, право работника на дополнительный отпуск за работу с вредными и (или) опасными условиями труда, право работника на сокращенную продолжительность рабочего времени по списку производств, цехов, профессий и должностей с вредными и (или) опасными условиями труда, работа в которых дает право на сокращенную продолжительность рабочего времени; право работника на оплату труда в повышенном размере путем установления доплат за работу с вредными и (или) опасными условиями труда.



УДК 697.941

Поступила 07.09.2017

ЗАЩИТА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ЛИТЕЙНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВРЕДНЫМИ ОРГАНИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ PROTECTION OF THE AIR OF THE FOUNDRY ENTERPRISES AGAINST POLLUTION OF HARMFUL ORGANIC MATTERS

Ю. П. ШАПОВАЛОВ, А. С. ГАЛИБУС, А. И. СУДАРЕВ, ООО «Газоочистка инжиниринг», г. Минск, Беларусь, ул. Долгобродская, 23. E-mail: cleangaz.by@gmail.com,
Е. М. ГЛУШЕНЬ, Р. К. НАГОРНЫЙ, ГНУ «Институт микробиологии НАН Беларуси», г. Минск, Беларусь, ул. Купревича, 2. E-mail: microbio@mbio.bas-net.by

Yu. P. SHAPOVALOV, A. S. GALIBUS, A. I. SUDAREV, LLC Gazoostchistka engineering, Minsk, Belarus, 23, Dolgobrodskaya str. E-mail: cleangaz.by@gmail.com,
E. M. GLUSHEN, R. K. NAGORNY, Institute of a microbiology of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, 2, Kuprevich str. E-mail: microbio@mbio.bas-net.by

Приведена информация о проблеме загрязнения вентиляционного воздуха литейных цехов и опыта решения данной проблемы.

Information on a problem of pollution of ventilating air of foundry shops and experience of the solution of this problem is provided.

Ключевые слова. Вентиляционный воздух, вредные вещества, абсорбционно-биохимические установки, практика применения.

Keywords. Ventilating air, harmful substances, absorptive and biochemical installations, practice of application.

Газовыделения и выбор метода их нейтрализации

Законодательное право человека на здоровую окружающую среду гарантируется Конституцией Республики Беларусь и Законом об охране атмосферного воздуха, но в реальности наблюдаются случаи, когда экологическая безопасность жилых территорий, прилегающих к промышленным предприятиям, в состав которых входят литейные цеха, не соблюдается.

При технологических процессах изготовления литейных стержней, заливки (рис. 1), охлаждения и выбивки форм в атмосферу с вентиляционным воздухом поступает до 20 газообразных веществ [1] второго, третьего и четвертого классов опасности, в том числе фенол, формальдегид, фурфурол, метанол, аммиак, акролеин, цианиды, бензапирен, триэтиламин, диэтиламин, ксилол, толуол и ряд углеводородов. При этом, как правило, превышаются экологические нормативы по содержанию вредных веществ в воздушной среде, а также увеличиваются поступающие жалобы от населения по поводу неприятного запаха в приземном слое атмосферы.

Выбор метода очистки вентвоздуха осложняется наличием в парогазовоздушной смеси взвешенных веществ (кварцевая пыль, сажа), а также аэрозоли, которая при охлаждении конденсируется на рабочих колесах и лопастях вентиляторов, элементах воздухопроводов в виде смолистых веществ.

Сухие методы очистки вентвоздуха (угли, катализаторы, адсорбенты, ионообменные волокна, газоразрядные ячейки) не нашли применения в литейном производстве для нейтрализации вредных органических веществ в связи с налипанием на рабочих поверхностях фильтров взве-



Рис. 1. Заливка литейной формы

шенных и смолистых веществ, что приводит к резкому снижению эффективности работы вплоть до полного выхода из строя газоочистного оборудования.

Исследования, проведенные на лабораторных и опытно-промышленных установках, показали, что в данном случае единственно возможным техническим решением по очистке многокомпонентного по газовому составу нагретого вентиляционного воздуха, содержащего взвешенные и конденсационные вещества, является водная абсорбция вредных веществ с последующей биохимической регенерацией абсорбента.

Газоочистные установки, где происходят процессы водной абсорбции и биохимического окисления вредных органических веществ, получили название абсорбционно-биохимические.

Абсорбционно-биохимические установки (АБХУ)

Востребованность АБХУ

Сегодня АБХУ применяют в литейных цехах для решения экологических проблем такие гиганты автомобилестроения, как ОАО «МАЗ», ОАО «ГАЗ», АО «КАМАЗ», АО «АЗ «Урал», АО «Автодизель», а также АО «НПК «Уралвагонзавод», ООО «Лебедянский машиностроительный завод», ООО «Оскольский завод нефтяного машиностроения», АО «Термотрон-завод» и др. Высокий спрос на АБХУ подтверждается получением награды «Экспортер года 2014» (рис. 2).

Востребованность АБХУ объясняется тем, что в данном сегменте рынка нет альтернативного газоочистного оборудования, которое отвечало бы следующим условиям:

- имело положительный опыт практического применения около 30 лет;
- не требовало капитального ремонта и имело срок службы не менее 20 лет;
- не требовало текущего ремонта (кроме вентилятора и насоса);
- было простым в обслуживании;
- имело минимальные в количественном и ценовом выражении расходные материалы;
- не образовывало вторичного загрязнения окружающей среды;
- было пожаро-взрывобезопасным;
- не теряло свою функциональность в течение всего срока эксплуатации.

Итог нашей технической политики по совершенствованию процесса и оборудования для нейтрализации летучих органических веществ (ЛОС) отражается в стабильно растущем спросе на АБХУ. В настоящее время в эксплуатации находится более 100 установок на 48 предприятиях России, Беларуси и Украины.



Рис. 2. Награда «Экспортер года 2014»

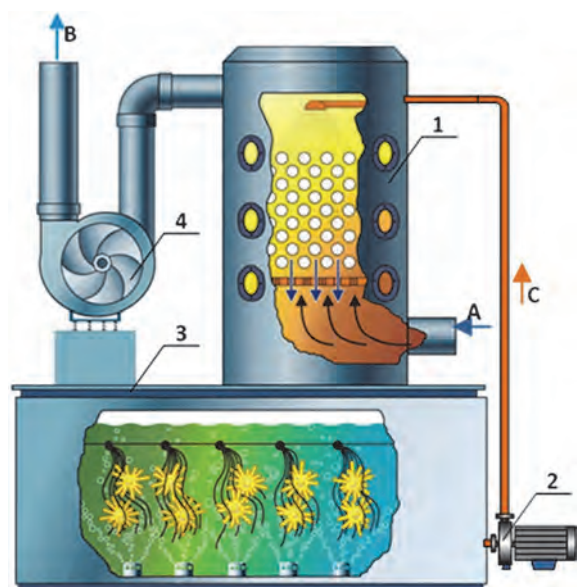


Рис. 3. Принципиальная схема абсорбционно-биохимической установки: 1 – скруббер с массообменными решетками и насадкой; 2 – насос; 3 – биореактор с насадкой и аэраторами; 4 – вентилятор; А и В – вход и выход вентвоздуха; С – абсорбционный раствор

Технологическая схема АБХУ

Очистка вентиляционного воздуха в АБХУ основана на естественных природных процессах:

первый заключается в том, что большинство вредных летучих органических соединений хорошо растворимы в технической воде;

второй принцип основан на способности специально селекционированных и адаптированных микроорганизмов использовать в качестве источников питания растворенные в воде органические и некоторые неорганические вещества. В процессе потребления микроорганизмами этих соединений происходит их полная минерализация с образованием воды и углекислого газа.

На рис. 3 показана схема абсорбционно-биохимической установки очистки вентвоздуха.

В скруббере с подвижной шаровой насадкой при помощи водного абсорбента происходит улавливание вред-

ных веществ, а в биореакторе – их нейтрализация. Микроорганизмы вводятся в биореактор один раз перед началом эксплуатации установки в виде концентрированной биомассы. Циркуляция раствора по замкнутому кругу «скруббер-биореактор» предотвращает образование производственного стока.

Повышению эффективности водной абсорбции труднорастворимых веществ способствуют процесс конденсации аэрозолей и паров высококипящих веществ; поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые вырабатывают в процессе жизнедеятельности микроорганизмы. На наличие ПАВ указывает образование пены в системе регенерации водного абсорбента [2].

Особенности микробной очистки абсорбционного раствора

Необходимым условием соблюдения принципа безопасности технологий с использованием микроорганизмов является получение и применение для очистки водных растворов нетоксичных и непатогенных микроорганизмов-деструкторов, а также полная биодеструкция органических компонентов, содержащихся в абсорбенте.

Специалистами лаборатории природоохранных биотехнологий Института микробиологии НАН Беларуси получены высокоактивные штаммы микроорганизмов-деструкторов, способные к использованию широкого круга органических веществ в качестве единственного источника углерода. Все микроорганизмы-деструкторы, используемые в качестве биологической загрузки в абсорбционно-биохимической установке, выделены из природных источников и прошли токсикологическую экспертизу Министерства здравоохранения Республики Беларусь и получили положительные заключения.

Расходными материалами, которые вводятся в биореактор, являются техническая вода для восполнения потерь на естественный влагунос в количестве 0,2–2,0 м³ в сутки; минеральные удобрения для поддержания необходимых концентраций биогенных элементов (Р, N, К) в количестве 2–4 кг в месяц.

Определяющий фактор АБХУ – стабильность паспортных характеристик. Этому способствует функциональность системы регенерации, где количество микроорганизмов в растворе саморегулируется: возрастает с увеличением поступления органических веществ в биореактор и наоборот. При остановке эксплуатации АБХУ по причине простоя технологического оборудования жизнедеятельность микроорганизмов сохраняется многие месяцы.

Микробиологический анализ водного абсорбента с действующих установок показывает количество микроорганизмов-деструкторов 1–6·10⁶ на 1 мл раствора. Контаминирующая микрофлора представлена микроорганизмами *Bacillus* и *Pseudomonas*. ХПК абсорбента находится в пределах 3–5 тыс. г О₂/л.

Конструктивное оформление АБХУ

Один из вариантов аппаратного оформления процесса водной абсорбции и биохимического окисления вредных органических веществ приведен на рис. 4. Особенностью данной конструкции является то, что скруббер 2 и каплеуловитель 5 выполнены в одном корпусе, а вентилятор 1 встроен в корпус газоочистного аппарата. Загрязненный вентвоздух А поступает в скруббер 2, где имеются массообменные решетки, на них расположен слой шаровой насадки, которая находится в кипящем состоянии и непрерывно орошается водным абсорбентом, подаваемым насосом. Водный абсорбент после скруббера поступает в шламоотстойник 3, где отделяются взвешенные вещества. После регенерации в биореакторе 4 очищенный раствор вновь поступает в скруббер. Очищенный вентвоздух В выводится в атмосферу.

Габариты АБХУ-20 составляют 6000×5000×7000 мм.

Компоновка газоочистного комплекса, состоящего из четырех АБХУ, приведена на рис. 5.

Установки комплектуются автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУТП) газоочистки, которая позволяет упростить техническое

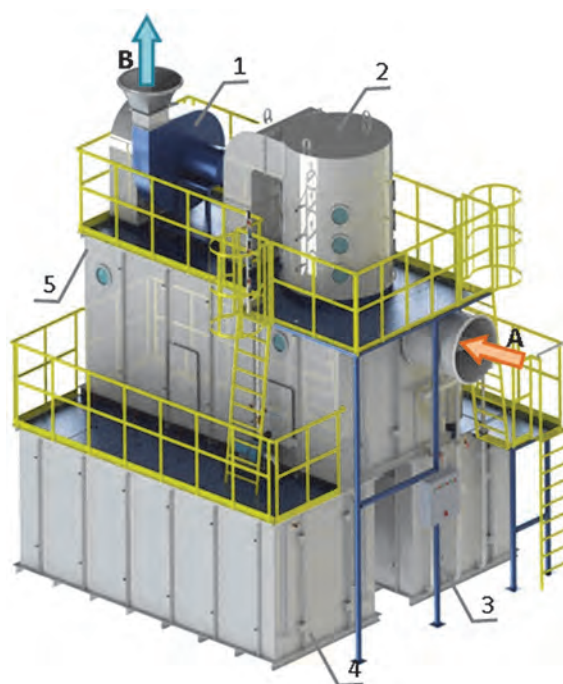


Рис. 4. Общий вид абсорбционно-биохимической установки производительностью по вентвоздуху 20 000 м³/ч: 1 – вентилятор; 2 – скруббер; 3 – шламоотстойник; 4 – биореактор; 5 – каплеуловитель; А и В – вход и выход вентвоздуха соответственно



Рис. 5. Газоочистной комплекс из четырех АБХУ общей производительностью по вентвоздуху 100 000 м³/ч

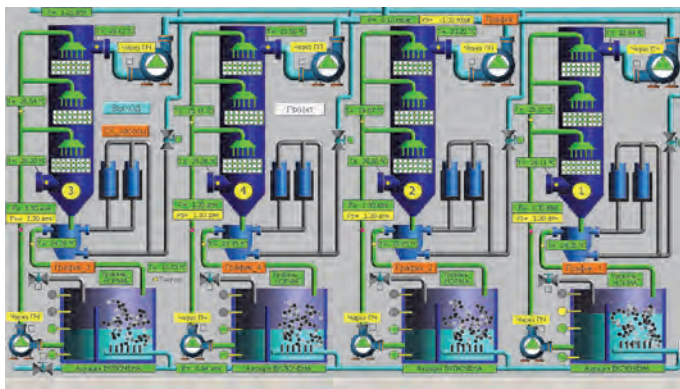


Рис. 6. Информационная панель эксплуатационных параметров АБХУ

обслуживание, вести контроль установок с помощью электронной передачи данных, обеспечить быстрое время реагирования по вопросам технического обслуживания и минимизировать риски по незапланированным простоям газоочистного оборудования.

Информация, которую можно отслеживать в онлайн-режиме, приведена на рис. 6.

Природоохранный эффект при применении АБХУ

Участки заливки, охлаждения и выбивки литейных форм

Данные источники газовыделений «обеспечивают» неприятный запах в районе расположения литейных цехов. В качестве примера можно привести ООО «Лебедянский машиностроительный завод», где газоочистной комплекс эксплуатируется с 2003 г. Общий объем очищаемого вентвоздуха – 120 000 м³/ч, а эффективность улавливания составляет: фенола, триэтиламина, формальдегида, аммиака, цианистого водорода – 85–95%; взвешенных и смолистых веществ – 98–99%. После ввода в эксплуатацию АБХУ полностью прекратились жалобы жителей в природоохранные органы. В настоящее время на участках заливки, охлаждения и выбивки литейных форм на 13 предприятиях в эксплуатации находятся 40 АБХУ (рис. 7).

Изготовление стержней по Cold-box-amin-процессу

В настоящее время для очистки вентвоздуха от аминов применяют два способа: хемосорбцию [3] и абсорбционно-биохимический метод. Химическая очистка в «кислотных» скрубберах основана на способности аминов образовывать с серной и ортофосфорной кислотами водорастворимые соли. Абсорбционно-биохимическая очистка в АБХУ (рис. 8) основана на способности аминов безгранично рас-



Рис. 7. АБХУ, эксплуатируемая на ООО «Техпромлит»



Рис. 8. АБХУ очистки вентвоздуха от триэтиламина на АО «Копейский машиностроительный завод»



Рис. 9. АВХУ и стержневая машина АНВ, эксплуатируемые на РУП «Гомельский завод литья и нормалей», РБ

творяться в технической воде с последующим их микробиологическим разложением на безвредные составляющие – воду, углекислый газ и свободный азот.

Эксплуатация «кислотных» скрубберов показала их экологическую проблемность:

- периодический сброс в канализацию отработанного раствора с превышением нормативов по сульфатам в 200 раз, по фенолу – в 3000 раз;
- из-за нарушений условий эксплуатации на большинстве предприятий имеет место каплеунос серной кислоты в атмосферу.

По экологическим причинам, а также в связи с разрушением корпусов скрубберов ряд предприятий заменили «кислотные» скрубберы на АВХУ.

На РУП «Гомельский завод литья и нормалей» в 2013 г. запущен комплекс оборудования для изготовления стержней по Cold-box-amin-процессу (рис. 9).

При проведении тендера от установки очистки вентвоздуха наряду с высокой эффективностью очистки воздуха от паров аминов требовалось обеспечить отсутствие промышленных стоков и минимальные эксплуатационные затраты. Выбор установки для нейтрализации паров аминов вентилируемого от машины воздуха в пользу отечественного производителя был обоснован существенными экономическими и экологическими преимуществами установок АВХУ перед кислотными скрубберами, а именно: стоимость капитальных и текущих затрат – ниже, какие-либо стоки в систему канализации отсутствуют. Эффективность очистки вентвоздуха при этом аналогичная (96% и выше).

В настоящее время на 21 литейном предприятии находится в эксплуатации 36 АВХУ, очищающих вентвоздух, удаляемый от белорусских (Институт БелНИИЛИТ), итальянских (PRIMAFOND), английских (Omega) и немецких (Laempe и АНВ) стержневых машин.

Выводы

Технически решена задача очистки от вредных органических веществ сложных составов (многокомпонентность, высокая температура, запыленность, наличие конденсационных веществ) вентиляционного воздуха, удаляемого от стержневых и заливочных участков литейных цехов.

Очистка вентвоздуха в АВХУ позволяет не только снизить выброс вредных веществ в воздушную среду литейных цехов, но и значительно уменьшить запаховый эффект в районе расположения предприятий.

Литература

1. Жуковский С. С. Холоднотвердеющие связующие и смеси для литейных стержней и форм. М.: Машиностроение, 2010.
2. Ганиткевич Я. В. Поверхностно-активные вещества микробного происхождения. // Биотехнология. 1988. Т. 4. № 5. С. 575–583.
3. Кудин Д. А., Черепович А. В. Особенности химического способа очистки вентиляционного воздуха от паров третичных аминов // Литейное производство. 2005. № 4. Стр. 37–39.



Поступила 15.11.2017

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА ПО МЕТОДОЛОГИИ ЮНИДО В РОССИИ

EXPERIENCE IN THE IMPLEMENTATION OF THE ENERGY MANAGEMENT SYSTEM BASED ON UNIDO METHODOLOGY IN RUSSIA

А. Ю. АНТОМОШКИН, ООО «Инновационный центр производственной оптимизации», Москва, Россия, ул. Куусинена, 21. Тел. +7 921 936 05 7. E-mail: aay@icpo.com.ru

A. YU. ANTOMOSHKIN, Innovation Center for Production Optimization LLC (ICPO), Moscow, Russia, 21, Kuusinen str. Tel. +7 921 936 05 7. E-mail: aay@icpo.com.ru

В статье дан анализ практического опыта внедрения системы энергоменеджмента (СЭнМ) по методологии ЮНИДО на предприятиях Российской Федерации. Проектом было охвачено более 40 предприятий различных отраслей, включая коммунальное хозяйство. Определены основные барьеры, затрудняющие внедрение СЭнМ. Описаны структура, основные фазы и элементы СЭнМ, обеспечивающие положительный результат. Приведен пример внедрения СЭнМ на ОАО «ММК», показывающий ее эффективность по методологии ЮНИДО. Экономия энергоресурсов на ОАО «ММК» в течение первого года использования СЭнМ составила 1 177,7 млн. руб.

The article is dedicated to the analysis of practical experience of implementing the energy management system (EnMS) based on UNIDO methodology at the enterprises of the Russian Federation. More than 40 enterprises in Russia were involved in UNIDO project, including municipal services. Main barriers to the implementation process are identified and described. EnMS cycle and its key elements are pointed out, which are critical to successful implementation. Case study of successful implementation of EnMS at one of the biggest Russian steel works «ММК» is given. UNIDO methodology was applied, which gave an impressive saving of 1 177,7 mln roubles during the first year.

По энергоемкости ВВП Россия значительно отстает от ведущих мировых экономик, имея долю энергоресурсов в валовом продукте в 2,0–2,5 раза выше. В значительной степени это обусловлено исторической дешевизной энергоресурсов, когда вопросы энергоэффективности не стояли так остро, а энергосбережением не занимались систематически.

Западная экономика почувствовала энергетический голод довольно давно и взялись за решение проблемы энергоэффективности. В то же время была осознана связь между потреблением энергоресурсов и экологией, а выбросы CO₂ стали одним из основных показателей эффективности и безопасности промышленности. В результате были созданы международные организации, занимающиеся проблемами глобальной экологии, энергосбережения, использования альтернативных и возобновляемых источников энергии. Одной из таких организаций является ЮНИДО – специализированное учреждение Организации Объединенных наций, отвечающее за содействие всеохватывающему объемлющему и устойчивому промышленному развитию.

К настоящему времени в мире разработано большое количество международных и национальных программ и технологий, направленных на снижение потребления углеводородных топлив, увеличение доли биотоплив в энергетике, уменьшение выбросов CO₂.

Очевидно, что использование возобновляемых источников энергии имеет определенную специфику и возможно далеко не во всех климатических и географических зонах. Ветер, солнце, геотермальные источники, приливно-отливные явления доступны не везде и не всегда, а энергия нужна постоянно. Углеводороды и в настоящее время остаются наиболее конкурентным видом топлива. Но их запасы ограничены. Поэтому одним из наиболее действенных способов энергосбережения является повышение энергоэффективности во всех сферах человеческой деятельности и хозяйствования.

Одним из инструментов, используемых ЮНИДО при реализации программ и проектов в области промышленной энергоэффективности, является энергоменеджмент. Так, в 2008 г. было принято решение

о разработке стандарта ИСО/ISO и 17 июня 2011 г. был выпущен стандарт ISO 50001:2011 Energy management systems – Requirements with guidance for use, инициатором и соавтором которого являлась ЮНИДО. В РФ он был издан как национальный стандарт ГОСТ Р ИСО 50001-2012 «Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению». Следующим шагом стал национальный стандарт ГОСТ Р 56743-2015 «Измерение и верификация энергетической эффективности. Общие положения по определению экономии энергетических ресурсов», основанный на международном стандарте ISO 50015:2014.

В России деятельность ЮНИДО по повышению энергоэффективности промышленности реализовалась в проекте «Развитие рыночных механизмов повышения энергоэффективности энергоемких отраслей российской промышленности», в рамках которого с 2013 по 2017 г. более 40 малых, средних и крупных предприятий различной направленности (от горнодобывающих предприятий, производителей пищевой продукции и электроники до муниципальных образований и водоканалов) внедрили систему энергоменеджмента (СЭнМ) по методологии ЮНИДО. Это позволило им достичь значительной экономии энергоресурсов без дополнительных капиталовложений, а также получить различные неэнергетические выгоды, такие, как улучшение организационной культуры; повышение мотивации сотрудников; снижение негативного воздействия на окружающую среду; экономия сырья и водопотребления водных ресурсов. Помимо этого, компании смогли значительно улучшить систему контроля за энергоресурсами, оптимизировать рабочее время сотрудников, затрачиваемое на анализ энергопотребления и отчетность.

Вместе с тем, опыт России выявил целый ряд проблем и барьеров, возникающих на пути внедрения систем энергоменеджмента, которые усложняют процесс и негативно влияют на результат.

1. Вялость и невнятность государственной политики в области энергосбережения.
2. Бюрократизм и формализм, который привел к дискредитации СЭнМ.
3. Неэффективность управленческих структур предприятий.

Рассмотрим эти барьеры более подробно.

1. *Государственная политика.* Одна из обязанностей государства – создание четких стратегических задач развития, в том числе в области энергосбережения, которые должны формироваться с привлечением наиболее компетентных специалистов, объединенных в экспертные советы при правительстве. Отсутствие такого подхода приводит к воцарению дилетантских представлений во властных структурах и принятию непродуманных, неэффективных решений. Реализация принятых стратегий должна обеспечиваться нормативной документацией, не допускающей двояких толкований и имеющей практическую направленность, а также системой экономического стимулирования предприятий. Немаловажную роль могли бы играть PR-компании, общественный контроль и общественное мнение. Подобный подход к повышению эффективности использования энергии совершенно необходим для России, где доля госсектора в ВВП составляет около 40% (для сравнения в большинстве стран мира эта доля колеблется от 10 до 20%). Таким образом, госсектор мог бы стать локомотивом программ энергосбережения и повышения энергоэффективности. Потенциал энергосбережения на национальном уровне в России огромен. В отсутствие же внятной государственной энергосберегающей политики очень тяжело добиться изменения устоявшихся десятилетиями подходов. Тем не менее, стоит отметить возрастающую заинтересованность правительства к вопросу распространения энергоменеджмента, связанного с успехами некоторых известных российских предприятий при реализации проектов внедрения энергоменеджмента, например, Пивоваренной компании Балтика, Уральской горно-металлургической компании, Магнитогорского металлургического комбината и др.

2. *Бюрократизм и формализм.* Россия уже имеет печальный опыт «внедрения» стандарта ИСО ISO 9001 в области систем контроля качества и федерального закона № 261-ФЗ об обязательных энергоаудитах и энергопаспортах. Сугубо формальный подход к обследованиям и аудитам, необязательность получения и подтверждения эффекта от внедряемых мероприятий, практическая бесполезность проводимых работ для предприятий, получение ни к чему не обязывающего и ничего не дающего сертификата привели к тому, что появилось огромное количество фирм, предлагающих, например, изготовление энергопаспорта за 2 дня, без выезда на предприятие. Сертификат на соответствие ИСО 9001 требует немного больше времени и денег, но при этом структура контроля качества создается формально, на бумаге, а реально не существует и задач контроля качества на практике не решает. К сожалению, такая же судьба уже постигает и систему энергоменеджмента. Создание пакета документов и регламентов, формально отвечающих требованиям ГОСТ ИСО 50001-2012, считается внедрением СЭнМ на предприятии. Уходя

с предприятия, подобные компании оставляют после себя множество бесполезных бумаг и процедур, а также полное непонимание со стороны заказчика, за что он заплатил деньги. Затем через некоторое время эти же «компании-партнеры» предлагают сертифицировать «внедренную» ими же «систему» на соответствие ИСО 50001. На основании такого подхода уже сформировалось мнение, что система энергоменеджмента – это бессмысленное и бесполезное мероприятие, отнимающее время и деньги, результат которого равен нулю. Такое отношение приходится преодолевать, демонстрируя действенность и практическую ценность СЭнМ на примере российских предприятий, внедривших систему.

3. Неэффективность управленческих структур. Полноценное внедрение СЭнМ на деле подразумевает прежде всего существенное изложение сложившихся порядков и отношения к энергопотреблению на всех уровнях управления предприятием. Воля и вовлеченность высшего руководства в этом смысле играют определяющую роль, что должно материализоваться затем в мобилизации всех членов коллектива, могущих влиять на энергоэффективность, решение задач по ее повышению. Известно, что любые изменения на предприятии всегда вызывают сильное сопротивление, преодолеть которое с помощью директивных методов управления очень сложно. Любая директива воспринимается как дополнительная необязательная нагрузка и материальное поощрение рассматривается подчиненным как единственное условие качественного выполнения требований руководства. При этом инициатива и творческий подход даже не подразумеваются. Только современные методы управления, основанные на доверии в коллективе, открытости, ясном понимании всеми стратегии развития, делегировании полномочий, ответственности и компетентности исполнителей, позволяют построить и внедрить работоспособную систему энергоменеджмента.

Что же в действительности представляет собой система энергоменеджмента по методологии ЮНИДО, как она должна внедряться и какие барьеры возникают на этом пути?

СЭнМ – это система управления энергоэффективностью предприятия, основанная на лидерстве и внимании руководства к вопросам реального энергосбережения; правильном и продуманном распределении функций ответственного персонала; выявлении значимых энергопотребителей; сборе и анализе структуры их энергопотребления; определении факторов, влияющих на энергоэффективность; разработке и внедрении мероприятий по повышению энергоэффективности; контроле и верификации полученных результатов.

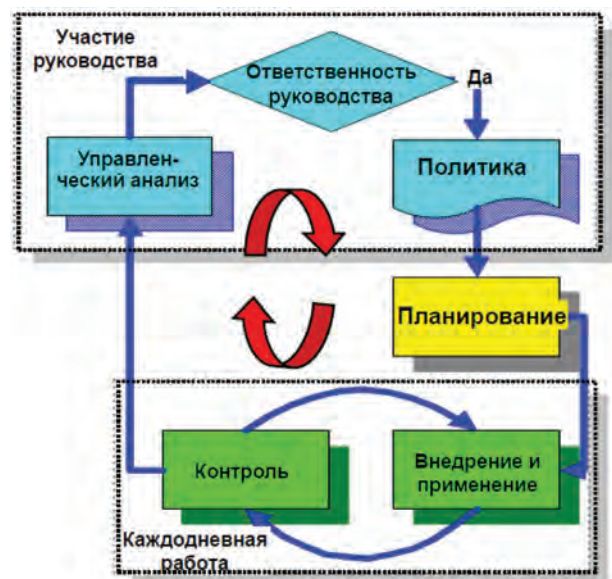
Выстроенная подобным образом система превращается в постоянно используемый инструмент, позволяющий моделировать энергопотребление предприятия; прогнозировать его с высокой достоверностью; определять показатели эффективности использования энергоресурсов; своевременно выявлять отклонения от прогноза и причины этих отклонений; оперативно проводить корректирующие мероприятия.

Очевидно, что внедрение СЭнМ подразумевает взаимодействие многих служб и специалистов предприятия при активной организационной поддержке и участии топ-менеджмента. Энергоэффективность в промышленности достигается большей частью за счет изменений в способах управления энергией, а не за счет внедрения новых технологий.

Типичный цикл функционирования СЭнМ основан на цикле Демминга (см. рисунок).

Ответственность руководства. На первом, самом важном этапе руководство предприятия должно однозначно ответить на вопрос, заинтересовано ли оно во внедрении СЭнМ? Будет ли оно оказывать всемерную поддержку и предоставлять необходимые людские, технические и финансовые ресурсы? Это – точка принятия решения.

Политика. Второй этап – создание энергетической политики (стратегии) и целей в области энергоэффективности; формирование организационной структуры и принципов взаимодействия между различными подразделениями для достижения поставленных целей; разработка пакета регламентирующих документов. Важно, что на этом этапе определяются



Рисунок

и описываются роли и обязанности руководства в системе энергоменеджмента. Таким образом, оно берет на себя обязательства по не формальной, а реальной всемерной поддержке внедрения и последующего функционирования системы, обеспечения постоянных улучшений.

Планирование – важнейший аналитический этап внедрения системы. Необходимо ответить на следующие вопросы:

- где и для чего используется энергия;
- какие факторы и как влияют на объем потребления;
- хватает ли информации для принятия решений или необходим энергоаудит;
- каковы базовые уровни и показатели эффективности использования энергии;
- какова структура и модель энергопотребления;
- какие операционные критерии оказывают наибольшее влияние на энергопотребление;
- какие цели необходимо поставить в рамках стратегии и достижимы ли они;
- каким образом поставленные цели будут достигаться.

Внедрение. На этом этапе осуществляется оперативное управление; внедряются методы операционного контроля и инвестиционные проекты, необходимость которых была выявлена на этапе планирования; проводится обучение и повышение квалификации персонала; формируется и наполняется документальная база.

Контроль подразумевает регулярную деятельность по проверке выполнения внедренных мероприятий; управление операционными параметрами; мониторинг и верификацию показателей эффективности использования энергии; отслеживание тенденций и достижения плановых показателей.

Управленческий анализ. Представление и обсуждение результатов деятельности по энергосбережению; оценка степени достижения запланированных показателей; идентификация и анализ барьеров, разработка мер по их преодолению; анализ достижений; корректировка действий и перспективное планирование.

Таким образом, система энергоменеджмента – это инструмент, который при правильной организации дает возможность постоянно контролировать энергопотребление и энергоэффективность предприятия; оперативно реагировать на изменение значимых переменных, проводить необходимые мероприятия и снижать энергопотребление и предотвращать перепотребление; планировать энергопотребление с учетом всех влияющих на него факторов; снижать энергопотребление без ущерба для объема и качества выпускаемой продукции; добиваться снижения энергопотребления за счет беззатратных мероприятий; осуществлять точное краткосрочное и долгосрочное планирование энергопотребления, а также обосновывать и верифицировать эффект от энергосберегающих проектов.

Энергоменеджмент по методологии ЮНИДО – это новый уровень комплексного подхода к вопросам энергосбережения, который подразумевает перестройку сознания и вовлечение в процесс коллектива предприятия. Методика ЮНИДО является наиболее передовым инструментом, позволяющим при правильной организации и преодолении описанных выше барьеров на постоянной основе добиваться устойчивого повышения энергоэффективности при любых изменениях факторов, влияющих на энергопотребление. Методика ЮНИДО отлично работает как на промышленных предприятиях, так и в жилищно-коммунальном секторе, что подтверждается российским опытом на 42 предприятиях.

В промышленности наиболее показателен пример Магнитогорского металлургического комбината, где в результате внедрения СЭнМ была достигнута экономия энергоресурсов на сумму 1 177,7 млн. руб.

При этом важнейшими факторами успеха были:

- Готовность к изменениям и использование новых подходов на всех организационных уровнях.
- Поддержка и вовлеченность высшего руководства. Это означает значительно больше, чем просто признание необходимости и преимуществ повышения энергоэффективности. Руководство высшего звена устраняет препятствия на пути улучшений, принимает решения в поддержку изменений, а также поощряет достижение ощутимых результатов и требует их.
- Назначение центрального координирующего органа, который следит за тем, чтобы энергоменеджеры выполняли свои обязательства. Также этот орган должен распространять опыт между производственными площадками как положительный, так и отрицательный.
- Обеспечение сотрудничества и взаимодействия между департаментами. Успех не может быть достигнут только усилиями технического или энергетического отдела. Требуются изменения и улучшения во всех областях деятельности, влияющих на энергопотребление.
- Процесс постоянного улучшения энергорезультативности и системы энергоменеджмента.

- Разработка контрольных листов по наиболее существенным энергетическим параметрам при поддержке производственных подразделений и отдела контроля качества.

- Постоянное взаимодействие, включающее ежедневные встречи энергетического и производственного персонала, для развития первоначального успеха, контроль стабильной реализации изменений и улучшений.

- Программа мотивации для сотрудников должна быть согласована с программой экономии энергии и СЭнМ.

В 2014 г. на ММК начата разработка нормативно-технической базы по управлению энергоэффективными проектами.

- Разработан и утвержден приказом по ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» Стандарт предприятия «Порядок управления энергоэффективными проектами».

- Разработана и утверждена методика мотивации персонала УГЭ за оформление энергоэффективного проекта.

- Сформирована и обучена проектная группа для работы с идеями в области энергосбережения.

- Перестроена работа остальных подразделений и участков ЦЭСТ с ориентацией на повышение энергоэффективности.

В январе 2015 г. вышел приказ генерального директора ОАО «ММК», устанавливающий цель по снижению платежей за энергоресурсы на 1500 млн. руб. с декомпозицией по всем подразделениям и цехам ОАО «ММК». Отслеживание реализации поставленной задачи возложено на Управление экономики.

В основе метода определения эффекта лежит фиксирование объема закупаемых энергоресурсов относительно плановых величин. Плановые величины при этом определяются по результатам многофакторного анализа данных по потреблению энергоресурсов. После построения модели энергопотребления на базе методов статистического моделирования точность прогнозирования потребления энергоресурсов ОАО «ММК» превысила 99%.

Реализация механизма мониторинга и контроля снижения затрат и повышения энергетической эффективности производства также осуществлялась на основании приказа генерального директора.

Проводили регулярные совещания руководства с главными специалистами по направлениям, работниками подразделений и цехов. Задачей совещаний был управленческий анализ эффективности внедренных мероприятий, определение дальнейших направлений работы, корректировка ранее принятых решений.

Были разработаны приоритетные комплексные проекты в области энергосбережения на 2015–2018 гг.:

- Оптимизация работы пароконденсатной системы.
- Повышение эффективности электроприводов.
- Модернизация системы водоснабжения.
- Повышение эффективности теплообменного оборудования.
- Повышение эффективности систем цехового отопления.

На предприятии был организован сбор предложений от сотрудников по повышению энергоэффективности. В результате было подано более 700 предложений, из которых за первый год было реализовано более 180. Они принесли более 300 млн. руб. экономии. Низкоинвестиционные проекты и энергосервисные контракты позволили сэкономить еще около 70 млн. руб.

Большое влияние на энергопотребление оказали меры операционного контроля (в основном, направленные на поддержание объективных параметров технологических процессов и бизнес-процессов), которые дали возможность сэкономить более 700 млн. руб.

В итоге общая экономия по предприятию составила 1 177,7 млн.руб.

При этом одним из условий успешной работы явилось привлечение экспертов, прошедших обучение по методологии ЮНИДО и сертифицированных этой организацией.

Выводы

Предлагается распространить положительный опыт внедрения СЭнМ в России на предприятия Республики Беларусь, особенно на такие, где доля энергоресурсов в стоимости продукции достаточно велика. В этом смысле литейные предприятия и предприятия металлургии представляют наибольший интерес.

ООО «Инновационный центр производственной оптимизации» (ИЦПО) объединяет наиболее опытных экспертов по СЭнМ, сертифицированных ЮНИДО и принимавших непосредственное участие в проекте внедрения системы энергоменеджмента на предприятиях РФ. Имея богатый практический опыт, специалисты ИЦПО готовы оказать всемерную помощь предприятиям Республики Беларусь в проведении работ по внедрению СЭнМ.

Страничка эксперта Госпромнадзора

Поступила 10.11.2017

РАЗРАБОТКА ДЕКЛАРАЦИЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ЛИТЕЙНОГО И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА. АНАЛИЗ РИСКА АВАРИЙ

В соответствии с Законом Республики Беларусь «О промышленной безопасности» № 354-З от 5 января 2016 г. все объекты металлургического и литейного производства (производственные участки, цехи), на которых получают, транспортируют, используют расплавы черных и (или) цветных металлов и сплавы на основе этих расплавов в количестве 500 т и более в год относятся к объектам II типа опасности и подлежат обязательному декларированию состояния промышленной безопасности.

Согласно Закону, эксплуатация опасных производственных объектов I и II типов опасности без наличия декларации промышленной безопасности запрещается.

Декларация промышленной безопасности разрабатывается субъектом промышленной безопасности, который эксплуатирует опасный производственный объект (ОПО), либо организацией, имеющей разрешение на право разработки этой декларации, выданное Госпромнадзором.

В декларации промышленной безопасности отражаются сведения об опасном производственном объекте (тип опасности, данные о технологическом процессе и используемом оборудовании), результаты анализа состояния промышленной безопасности, информация об условиях возникновения возможных аварий, схемы возникновения и развития возможных аварий, перечень принятых субъектом промышленной безопасности мер по обеспечению промышленной безопасности, готовности субъекта промышленной безопасности к локализации и ликвидации аварий и инцидентов на опасном производственном объекте и их последствий.

Требования к оформлению и содержанию декларации регламентируются «Положением о порядке разработки, оформления и представления декларации промышленной безопасности, внесения в нее изменений и (или) дополнений и учета таких деклараций», утвержденным Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 10.08.2016 г. № 627.

Важнейшей составной частью декларации промышленной безопасности, ее обязательным приложением является расчетно-пояснительная записка, которая должна содержать расчет и обоснование оценки риска аварии и достаточности, принятых мер по предупреждению аварий.

Оценка риска аварий включает в себя два важнейших показателя:

- *определение вероятности (частоты) возникновения того или иного аварийно-опасного события;*
- *анализ возможных последствий аварий*, включая воздействие на людей (персонал, работающий на ОПО, и людей, находящихся за его пределами), производственный объект (оборудование, конструкции, здания и сооружения) и окружающую среду.

После определения частоты возникновения возможных аварийных событий и тяжести их последствий делается обобщенная оценка риска на ОПО: определяются риск катастрофических событий, суммарный риск аварий на опасном производственном объекте, индивидуальный риск (частота поражения отдельного человека), потенциальный риск (риск реализации поражающих факторов в рассматриваемой точке территории объекта), социальный или коллективный риск, а также ожидаемый ущерб.

По результатам обобщенной оценки риска при необходимости (если уровень риска является неприемлемым) разрабатываются меры технического и организационного характера, направленные на уменьшение опасности: снижение частоты возникновения аварийно-опасных событий и уменьшение тяжести их последствий.

При определении приемлемого уровня вероятности критических аварий на опасном производственном объекте, сопровождающихся возможной гибелью человека, следует пользоваться указаниями ГОСТ 12.1.010–76 (СТ СЭВ 3517–81) «Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие

требования». При оценке индивидуального и потенциального риска могут быть использованы рекомендации ГОСТ Р 51901–2002 «Управление надежностью. Анализ риска технологических систем».

Наиболее характерными авариями на опасных производственных объектах литейного и металлургического производств являются аварии, связанные с получением и использованием жидкого металла:

- взрывы, вызванные контактом расплава металла с водой (физические взрывы), взрывы замкнутых емкостей, заполненных жидкостью, попавших вместе с шихтой в расплав, взрывы, в результате которых происходят замыкания в системе электроснабжения;
- пожары, вызванные возгоранием горючих материалов при контакте с жидким металлом, возгоранием электропроводки при коротком замыкании.

Типичными авариями в литейных и металлургических цехах являются также аварии, связанные с эксплуатацией грузоподъемных кранов и механизмов, взрывы и возгорания пылегазовых смесей в системах аспирации, рекуперации и пыле-газоочистки плавильных агрегатов и другого технологического оборудования.

При использовании на ОПО газопотребляющего оборудования, сосудов, работающих под давлением, жидкотопливных установок и других потенциально-опасных объектов и опасных веществ, указанных в приложениях 1 и 2 Закона Республики Беларусь «О промышленной безопасности», следует также оценивать риски, связанные с их эксплуатацией и использованием.

При оценке промышленной безопасности проведения оценки рисков и разработке мероприятий, направленных на снижение аварийной опасности на опасных промышленных объектах литейного и металлургического производств, следует руководствоваться требованиями Закона Республики Беларусь «О промышленной безопасности», Правил по обеспечению промышленной безопасности при получении, транспортировании, использовании расплавов черных и (или) цветных металлов и сплавов на основе этих расплавов, Правил безопасности и охраны труда металлургических производств, Правил промышленной безопасности в области газоснабжения Республики Беларусь, Правил по обеспечению промышленной безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением, Правил по обеспечению промышленной безопасности грузоподъемных кранов, ТРТС 010/2011 О безопасности машин и оборудования, ГОСТ 12.2.046.0-2004 «Оборудование технологическое для литейного производства. Требования безопасности», ГОСТ 12.3.027-2004 «Работы литейные. Требования безопасности», Правил пожарной безопасности (ППБ Беларуси – 2014), Правил устройства и безопасной эксплуатации электроустановок (ПУЭ) и других ТНПА, действующих в области промышленной безопасности, рекомендациями, ГОСТ Р 12.3.047-2012 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля, ГОСТ Р 27.302-2009 Надежность в технике. Анализ дерева неисправностей, ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011 Менеджмент риска. Методы оценки риска, РБ Г-05-039-96 Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического действия, Руководство по оценке пожарного риска для промышленных предприятий, Руководство по безопасности. Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах, РД 03-496-42 Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах и др., а также использовать статистические и справочные данные по аварийности на аналогичных производственных объектах, надежности и безопасности работы идентичных технологических систем и оборудования, экспертные оценки, логические и статистические методы анализа, численное и имитационное моделирование возникновения аварийных событий, учитывая при этом человеческий фактор и вероятность случайных событий.

Действенной помощью при проведении анализа риска аварий и разработке деклараций промышленной безопасности могут быть разработанные Научно-исследовательским институтом пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Беларуси «Методические указания по проведению комплексной оценки риска возникновения чрезвычайных ситуаций на опасных производственных объектах», проект которых в настоящее время проходит необходимые согласования.

*Ведущий эксперт управления проведения,
контроля экспертиз и технической диагностики*

В. А. Байрашевский

ПАМЯТИ

Алексея Петровича МЕЛЬНИКОВА

1951–2017



5 октября 2017 г. перестало биться сердце замечательного человека, директора ОАО «БЕЛНИИЛИТ», кандидата технических наук, доцента, лауреата Госпремии БССР в области науки и техники Алексея Петровича Мельникова.

А. П. Мельников родился 18 марта 1951 г. в дер. Марковичи Гомельского района Гомельской области. В 1977 г. окончил Белорусский политехнический институт по специальности «Машины и технология литейного производства». Трудовая деятельность А. П. Мельникова началась в 1968 г. на заводе «Гомсельмаш», с 1974 по 1989 г. связана с Гомельским литейным заводом «Центролит».

С февраля 1993 г. Алексей Петрович работал в должности директора ОАО «БЕЛНИИЛИТ».

В 1988 г. А. П. Мельников защитил кандидатскую диссертацию, в 1993 г. окончил Академию управления при Совете Министров Республики Беларусь по специальности «Экономика и управление производством», в 2009 г. ему было присвоено ученое звание доцента по специальности «Металлургия».

Под руководством А. П. Мельникова впервые в Республике Беларусь созданы новые энергосберегающие технологии для производства стержней из холоднотвердеющих смесей. Данные технологии и оборудование успешно применяются при техническом перевооружении литейных производств крупнейших предприятий Республики Беларусь, таких, как ОАО «Минский тракторный завод», ОАО «Минский автомобильный завод», а также «Ярославский моторный завод» (Россия), ЗАО «Азовэлектросталь» (Украина) и др., для производства ответственных отливок тракторов, автомобильных двигателей, тяжелонагруженных деталей вагонов.

Созданные при непосредственном участии А. П. Мельникова конкурентоспособное оборудование и технологии для получения поршневых колец, гильз цилиндров и других литых заготовок автомобилей успешно зарекомендовали себя в Китайской Народной Республике, Болгарии и странах СНГ.

Под руководством А. П. Мельникова разработана концепция развития литейного производства, на основе которой была разработана и утверждена подпрограмма «Технология литья» Государственной научно-технической программы «Технология и оборудование машиностроения».

А. П. Мельников наряду с научно-производственной деятельностью активно пропагандировал разработки ОАО «БЕЛНИИЛИТ». Им лично и в соавторстве опубликовано более 250 научных трудов, обзорных информационных и докладов. Он автор пяти монографий, имел 81 авторское свидетельство СССР и патенты Республики Беларусь.

А. П. Мельников совместно с учеными БНТУ и НАН Беларуси принимал активное участие в создании материало-, ресурсо- и энергосберегающих технологий, внедренных на Гомельском заводе «Центролит», за которые в 1990 г. был удостоен Государственной премии БССР в области науки и техники.

За свою трудовую деятельность А. П. Мельников неоднократно награждался Почетными грамотами Совета Министров Республики Беларусь, Министерства промышленности Республики Беларусь, Министерства образования Республики Беларусь, Национальной академии наук Беларуси. В 2007 г. награжден медалью «За трудовые заслуги», в 2009 г. – юбилейной медалью «20 лет вывода советских войск из Афганистана», в 2014 г. – юбилейной медалью «70 лет освобождения Республики Беларусь от немецко-фашистских захватчиков».

А. П. Мельников являлся действительным членом (академиком) Международной академии информационных технологий, членом редколлегий журналов «Литье и металлургия», «Литейщик России», «Литейное производство», зам. председателя Ассоциации литейщиков и металлургов.

Уход из жизни Алексея Петровича трагическая и невосполнимая утрата для всех нас. У него осталось еще много незавершенных дел и было много планов на будущее.

Память об Алексее Петровиче сохранится в сердцах тех, кто с ним работал и кто его знал.

*Редакция журнала «Литье и металлургия»
Ассоциация литейщиков и металлургов*