

Уважаемые коллеги,

Приглашаем Вас и ваших партнеров принять участие в юбилейной **25-й Международной научно-технической конференции «Литейное производство и металлургия 2017. Беларусь»** и информационной выставке литейного производства и металлургических технологий, которая состоится **18–20 октября 2017 года в Минске**.

Мы предлагаем Вам принять участие в работе конференции и по мере необходимости выступить с докладом или презентацией Вашего предприятия, которая будет включена в юбилейный выпуск журнала «Литье и металлургия». Журнал входит во Всемирную информационную электронную сеть «Директорий журналов открытого доступа» (DOAJ – Directory of Open Access Journals). Требования к оформлению публикаций – стандартные (указаны на сайте журнала www.limrb.by).

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

1. Литейное производство, оснастка, литье цветных сплавов и их обработка, технология и материалы, оборудование, приборы контроля, экология, охрана труда, информационные технологии.

2. Металлургическое производство, прокатное, волочильное и трубное производства, огнеупоры и керамика, охрана труда, экономика.

3. Материаловедение и защитные покрытия.

4. Подготовка кадров в области литейного и металлургического производства.

4. Тематические круглые столы.

Во время работы конференции будут подведены итоги конкурса лауреатов премии АЛИМ на лучший инновационный проект в литейном и металлургическом производствах, а также на лучшую научно-производственную работу молодого ученого или инженера (премия Д. М. Кукуя).

Организационный взнос одного участника – 250 евро (по курсу Национального банка РБ на день оплаты). Организационный взнос включает раздаточные материалы, оплату публикаций, участие в заседаниях и торжественных мероприятиях.

Стоимость участия в выставке 70 евро за 1 кв. м. оборудованной площади стандартного наполнения (стол, 2 стула, светильник, подводка электропитания, корзина для бумаг, вешалка, надпись на фризовой панели).

В период работы конференции предусмотрены технические экскурсии на предприятия Минска и встречи с интересующими Вас специалистами.

Просим Вас рассмотреть вопрос по участию в конференции и дать предложения по тематике для дополнительного включения в программу форума. Ваши предложения и мнения будут очень важны для нас, которые мы учтем по подготовке к конференции и совершенствованию работы АЛИМ.

Более подробная информация о конференции на сайтах АЛИМ и журнала «Литье и металлургия»: www.alimrb.by, www.limrb.by.

Оргкомитет просит сообщить о принятом решении.

Заранее благодарим.

*Ассоциация литейщиков и металлургов Республики Беларусь
Оргкомитет конференции
220013. г. Минск, ул. Я. Коласа 24, комн. 8м,
тел. 331-11-13, 292-74-75, e-mail: alimrb@tut.by, limrb@tut.by*



ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

ЦЕНТРОЛИТ

ГОМЕЛЬСКИЙ ЛИТЕЙНЫЙ ЗАВОД

**ПРОИЗВОДСТВО ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ ПО ЧЕРТЕЖАМ ЗАКАЗЧИКА
ИЗ ЧУГУНА МАРОК СЧ15-СЧ30 ГОСТ 1412-85 МАССОЙ ОТ 2 ДО 19000 КГ
И ВЧ50-ВЧ60 ГОСТ 7293-85 МАССОЙ ДО 10000 КГ.**

**СЛОЖНЫЕ ВИДЫ ЛИТЯ ДЛЯ СТАНКОСТРОЕНИЯ, МАШИНОСТРОЕНИЯ,
НЕФТЕГАЗОВОЙ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.**



РБ, 246647, г. Гомель, ул. Барыкина, 240

Приемная: тел. +(375 232) 46-44-11; т./ф. +(375 232) 46-00-90 E-mail: office@glz-centrolit.by
Отдел продаж: тел. +(375 232) 46-43-80; т./ф. +(375 232) 46-07-60 E-mail: op@glz-centrolit.by
Отдел маркетинга: тел. +(375 232) 46-43-79; т./ф. +(375 232) 46-05-45
E-mail: glz-centrolit@mail.ru, info@centrolit.com, www.glz-centrolit.by

3 (88) '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

МЕТАЛЛУРГИЯ

- Богущевский В. С., Каленчук М. В., Национальный технический университет Украины «КПИ им. Сикорского»
Оптимизация процесса десульфурации металла в конвертерном цехе с использованием различных реагентов 5
- Рожков А. И., Груднический О. М., Николаев В. В., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»
Перспективы использования проволоки с наполнителем «твердый» кальций взамен проволоки с наполнителем «силикокальций» в сталеплавином производстве ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» 11
- Луценко В. А., Голубенко Т. Н., Луценко О. В., ИЧМ им. З. И. Некрасова НАН Украины, Глазунова Н. А., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»
Влияние температуры аустенитизации на структурообразование при непрерывном охлаждении хромомолибденовой стали 13
- Ельцова Е. С., Коршук С. А., Лазебникова И. П., Зайцева М. В., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»
Влияние морфологии алмазных синтетических микропорошков на качество обработки канала твердосплавных волок 17
- Рожков А. И., Груднический О. М., Феклисов А. В., Коновалов Д. Л., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»
Выбор экономически целесообразного применения стружки черных металлов в дуговых сталеплавиных печах на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» 21
- Зуев И. А., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», Бобарикин Ю. Л., ГГТУ им. П. О. Сухого
Способы повышения качественных показателей проката мелкосортно-проволочного стана 150 ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» 24
- Казакова Е. А., Бирисен Т. С., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»
Опыт применения портативного оптико-эмиссионного спектрометра для контроля химического состава горячекатаного проката с целью выполнения требований потребителя 27
- Воронина Г. Н., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»
Организация межлабораторных сличительных испытаний в центральной заводской лаборатории (ЦЗЛ) ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» 30

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

- Коробейников В. В., Ткаченко С. С., Ассоциация литейщиков Санкт-Петербурга и Ленинградской области
Энергосберегающие нагревательные агрегаты нового поколения 34
- Марукович Е. И., Ильющенко В. М., Дувалов П. Ю., Калентионюк А. И., ГНУ ИТМ НАН Беларуси, Барановский К. Э., БНТУ
Структура и твердость литых деталей из износостойких чугунов 39
- Марукович Е. И., Стеценко В. Ю., ГНУ ИТМ НАН Беларуси
Наноструктурные процессы плавки и литья чугуна с шаровидным графитом. . . 45
- Пивоварчик А. А., Пивоварчик Е. В., Гродненский государственный университет им. Я. Купалы
Контроль химического состава латуни литейной в чушках, используемой для изготовления запорной арматуры 49

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Пантелеенко Ф. И., Захаренко В. В., Специан М. В., БНТУ
Формирование структуры и свойств зоны сплавления при плазменно-порошковой наплавке покрытия типа EuTroLoy 16006.04. 54
- Елистратов А. П., БНТУ
Формирование биметаллического соединения при наплавке лазером с подачей присадочной проволоки 58
- Жукова А. А., Подболотов К. Б., Изюмов А. А., Петренко В. В., ГНУ ФТИ НАН Беларуси
Получение ферротитана методом алюмотермического синтеза из отходов металлургической промышленности. 64
- Федулов В. Н., БНТУ
Оптимизация температурного режима закалки для повышения теплостойкости инструментальной стали 4X5MФ1С в различных заготовках. Часть 2. Выбор

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)
 Анелькин 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)
 Найдок 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)
 Пантелеенко 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)
 Волюнец 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 9.09.2017.
 Выход в свет 29.09.2017.
 Формат 60x84%.
 Цена свободная

Бумага офсетная
 Печать цифровая
 Усл. печ. л. 12,09
 Уч.-изд. л. 4,73
 Тираж 150 экз.
 Заказ 744

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

© Белорусский национальный технический университет, 2017

режима закалки стали 4X5MФ1С для повышения твердости и теплостойкости после отпуска.	70
Иванов В. В., Джанкова Я. Н., Легконогих А. Н., Донской государственный технический университет	
Формирование оксидной пленки в результате виброволнового воздействия с использованием полимерных рабочих сред	78

ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА

Климкович С. М., Корнеев Е. В., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»	
Совершенствование системы оплаты труда персонала предприятия на базе КРІ	81
Корнеев Е. В., Бурчак А. В., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»	
Снижение трудоемкости производства продукции за счет рационального использования трудовых ресурсов	84
Цыдренков А. А., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»	
Централизация службы управления труда по опыту ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»	87
Палеха В. А., Гетьман А. А., Военно-морской политехнический институт	
Бор. Свойства и применение в ядерной энергетике.	91
Васильева А. В., Гетьман А. А., Военно-морской политехнический институт	
Эрбий и его применение в современной технике.	95

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.

3 (88) '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

- BOGUSHEVSKY V. S., KALENCHUK M. V., National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute**
Optimization of desulfurization of metall in converter shop using different reagents . 5
- Rozhkov A. I., Grudnitsky O. M., Nikolaev V. V., OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC»**
Prospects for the use of cored wires with filler «solid» calcium instead of cored wires with filler «silico-calcium» in steelmaking OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC» 11
- Lutsenko V. A., Golubenko T. N., Lutsenko O. V., Z. I. Nekrasov Iron & Steel Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Glazunova N. A., OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC»**
The impact of austenitization temperature on a structures formation under continuous cooling of the chromo-molybdenum steel. 13
- Eltsova E. S., Korshuk S. A., Lazebnikova I. P., Zaytseva M. V., OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC»**
The influence of morphology of diamond synthetic micropowder on quality of processing of the channel of carbide drawing dies 17
- Rozhkov A. I., Grudnitsky O. M., Feklistov A. V., Konovalov D. L., OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC»**
The choice of economically expedient use of ferrous metals chips in arc steel-smelting furnaces on OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC». 21
- Zuyeu I. A., OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Bobarikin Yu. L., Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoj**
Ways to increase quality of products at the bar stock wire roll mill 150 in OJSC «BSW» – management company of holding «BMC» 24
- Kazakova E. A., Birisen T. S., OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC»**
Experience of application of a portable optico – emission spectrometer for monitoring of chemical composition of hot-rolled products to implement the customer's requirements 27
- Voronina G. N., OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC»**
The organization of interlaboratory collating tests in the Central factory laboratory of the OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC» 30

FOUNDRY

- Korobeynikov V. V., Tkachenko S. S., Foundry Association of St. Petersburg and Leningrad Region**
Energy saving heating units of new generation. 34
- Marukovich E. I., Ilyushenko V. M., Duvalau P. Yu., Kalentsionak A. I., Institute of Technology of Metals of National Academy of Sciences of Belarus, Baranouski K. E., Scientific and Tehnological Park of the BNTU «Politechnic»**
Structure and hardness of castings made from wear-resistant cast iron 39
- Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu., Institute of Technology of Metals of National Academy of Sciences of Belarus**
Nanostructural processes of melting and moulding of cast iron with globular graphite . . . 45
- Pivovarchyk A. A., Pivovarchyk E. V., State University of Grodno named after Yanka Kupala**
Control of chemical composition of casting brass in ingots used for manufacture of stop valves 49

SCENCE OF MATERIALS

- Panteleenko F. I., Zakharenko V. V., Spetsian M. V., Belarusian National Technical University**
Formation of the structure and properties of the zone of alloying under plasma-powder surfacing of coats type EuTroLoy 16006.04 54
- Yelistratov A. P., Belarusian National Technical University**
The formation of bimetallic connection in welder deposition under laser welding with the filler wire feed 58
- Zhukova A. A., Podbolotov K. B., Izyumov A. A., Petrenko V. V., Physical-Technical Institute of National Academy of Sciences of Belarus**
Procurement of ferrotitan from metal industry waste by method of aluminothermal synthesis 64

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)
 Bevza 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 12,09
 Account. publ. pages 4,73
 Circulation 150 copies
 Order 744

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

Fedulov V. N., Belarusian National Technical University

Optimization of temperature hardening for improving the heat resistance of tool steel 4X5MΦ1C in various workpieces. Part 2. The choice of the mode of hardening steel 4X5MΦ1C to increase the hardness and heat resistance after tempering. 70

Ivanov V. V., Dzhankova Ya. N., Legkonogich A. N., Don State Technical University

The formation of the oxide film due to wave vibration impact in polymeric operating environments 78

ORGANIZATION OF LABOUR

Klimkovich S. M., Korneevets E. V., OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC»

Improving the system of remuneration of personnel of the enterprise on the basis of KPI. 81

Korneevets E. V., Burchak A. V., OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC»

Decrease in labor input of production due to rational use of a manpower 84

Tsidrenkov A. A., OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC»

Centralization of service management work experience OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC». 87

Palekha V. A., Getman A. A., Naval Polytechnic Institute

Boron. Properties and application in nuclear energy. 91

Vasilyeva A. V., Getman A. A., Naval Polytechnic Institute

Erbium and its application in modern technology. 95

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.



УДК 669.18

Поступила 20.05.2017

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДЕСУЛЬФУРАЦИИ МЕТАЛЛА В КОНВЕРТЕРНОМ ЦЕХЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ РЕАГЕНТОВ

OPTIMIZATION OF DESULFURIZATION OF METALL IN CONVERTER SHOP USING DIFFERENT REAGENTS

*В. С. БОГУШЕВСКИЙ, М. В. КАЛЕНЧУК, Национальный технический университет Украины
«КПИ им. Сикорского», г. Киев, Украина, пр. Победы, 37. E-mail: marina.gor2013@gmail.com*

*V. S. BOGUSHEVSKY, M. V. KALENCHUK, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute», Kiev, Ukraine, 37, Pobedy ave. E-mail: marina.gor2013@gmail.com*

Разработаны математические модели зависимости расхода различных материалов для удаления серы из металла в конвертерном цехе. Установлены ограничения и возмущения, которые влияют на себестоимость процесса десульфурации.

The mathematical models for dependency of consumption various materials for the removal of sulfur from the metal in the converter shop are developed. The restrictions and disturbances that affect the cost of the desulfurization process were found.

Ключевые слова. Конвертер, сера, математическая модель, твердая шлакообразующая смесь.

Keywords. Converter, sulfur, mathematical model, solid mould powder.

Введение

В последнее десятилетие перед производством стали остро встают вопросы, диктуемые рынком металлопродукции. Возросла потребность в металле с содержанием серы 0,01–0,005% и ниже, что обусловлено резким повышением требований к качеству ряда широко применяемых марок сталей [1] и необходимостью устранения анизотропии металла, и стремлением к повышению ударной вязкости сталей, эксплуатируемых при низких температурах. В современных экономических условиях важной задачей является получение металла со снижением энергетических и материальных затрат на производство.

Одной из проблем в связи с этим является создание эффективной и экономичной технологии десульфурации металла на всех этапах его производства в конвертерном цехе. Основной задачей, решаемой с помощью процесса десульфурации, является повышение качества стали и обеспечения технологических возможностей для получения ответственных марок стали со сверхнизким содержанием серы [2].

Использование известных математических моделей процесса десульфурации не обеспечивает оптимального использования материальных ресурсов, приводит к значительным отклонениям исходных параметров. Проблема управления процессом десульфурации металла в существующих работах решена частично. Недостаток известных способов – управление процессом десульфурации только на отдельном агрегате, что не позволяет минимизировать расходы на десульфурацию металла в целом в конвертерном цехе и, как следствие, минимизировать себестоимость производимого металла.

Совершенствование технологических расчетов при рафинировании жидкого металла от вредных примесей, включая удаление серы из чугуна и стали, является важной задачей. Все это подтверждает актуальность решения проблемы получения математической модели процесса удаления серы из металла с целью оптимизации стоимости десульфурации.

Цель настоящей работы – оптимизация себестоимости процесса десульфурации металла в конвертерном цехе на участках внедоменной десульфурации, сталеплавильного агрегата и внепечной обработки стали.

Результаты исследований

Оптимизируемая целевая функция включает рассчитанные на единицу массы годной стали составляющие ее себестоимости от затрат на производство, являющейся линейной зависимостью от начальных условий и управляющих действий:

$$I = (\alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i) / (\beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i),$$

где I – функционал удельной себестоимости стали C_y , грн/т; x_i – параметры начальных условий и управляющих действий; α_0 – свободный член, который включает общезаводские расходы, не зависящие от управляющих воздействий, грн.; $\alpha_i, \beta_0, \beta_i$ – коэффициенты; n – количество учтенных параметров.

Задача оптимизации заключается в нахождении значений управляющих воздействий, обуславливающих $I = C_y(x_i) \rightarrow \min$ при ограничениях и граничных условиях, учитывающих технологические особенности всех процессов десульфурации, имеющих место при полном цикле производства стали в конвертерном цехе.

Для решения задачи оптимального управления необходимо получить математическое выражение целевой функции в явном виде. Для этого параметры x_i разбиваем на три группы. В первую включаем управляющие воздействия, представляющие собой расходуемые на плавку материалы. Значения коэффициентов при них α_i представляют собой цену материалов и энергоресурсов. Во вторую группу входят возмущения – начальные и конечные условия процесса, а значения коэффициентов при них представляют собой влияние возмущений на удельную себестоимость металла. В третью группу включаются управляющие параметры процесса с соответствующими весовыми влияниями на удельную себестоимость металла.

Для выплавки в конвертерах низкосернистых сталей [3] содержание серы в чугуна должно быть не более 0,010–0,015%, а для выплавки особо низкосернистых – не должно превышать 0,005%. Вместе с тем, доменные цеха не всегда в состоянии обеспечить стабильное получение качественного чугуна при одновременном сохранении достаточно высокой производительности и экономичности процесса. Поэтому все более широкое применение для повышения качества передельного чугуна получает внепечное рафинирование, которое обеспечивает выплавку высококачественных сталей с содержанием серы менее 0,01%.

Существует большое количество различных технологий внепечной десульфурации жидкого чугуна. Результаты исследований [4] и опыт внепечной обработки чугуна свидетельствует, что наиболее эффективным реагентом для десульфурации металла в промышленном производстве является магний.

Эффективному использованию магния для десульфурации чугуна способствуют уменьшение размеров пузырьков паров магния и рассредоточение их по всей ванне; увеличение общей площади поверхности всплывающих пузырьков пара, отнесенной к единице расхода магния, а также увеличение длительности реакции путем введения магния как можно глубже в ванну [5].

При низких значениях конечного содержания серы растущая растворимость магния уменьшает степень использования магния, при этом вероятность встречи в чугуне магния с серой уменьшается. Итак, для удаления последних тысячных долей процента серы нужен повышенный расход магния. При повышении температуры чугуна также наблюдается перерасход магния на десульфурацию, поэтому растет давление паров магния и его растворимость в металле.

Поэтому очень важно провести предварительный расчет целесообразности использования магнийсодержащих реагентов для получения заданного содержания серы. На рис.1 показаны эмпирические зависимости между остаточным содержанием серы в чугуне, начальной ее концентрацией и удельным расходом магния [2].

Как видно из рисунка, независимо от начального содержания серы эмпирические кривые являются экспонентами и при низких содержаниях серы (ниже 0,01%) дальнейшее увеличение расхода магния является экономически нецелесообразным, поскольку не приводит к значительному снижению содержания серы в чугуне. Тогда возникает необходимость использования

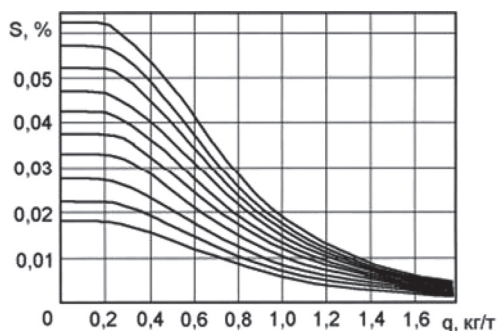


Рис. 1. Номограмма для определения расхода магния на десульфурацию чугуна магниевой смесью

других или дополнительных способов десульфурации, например, применение твердых шлакообразующих смесей или силикокальция.

Предлагается методика расчета необходимого количества магния для десульфурации чугуна, включающая следующие этапы. На первом этапе проводится компьютерный расчет расхода магния, позволяющий получить необходимые исходные данные для проведения продувки чугуна магнием. Исходными данными для расчета являются начальное и конечное содержание серы в металле, а также ограничения по пропускной способности фурмы с учетом ее конструкции и времени на обработку металла.

На втором этапе зависимости (рис. 1) скорректировали с учетом влияния температуры чугуна на расход магния.

По результатам статистической обработки экспериментальных данных установлена зависимость степени использования магния для десульфурации чугуна от его температуры и содержания в нем серы в виде следующего уравнения множественной регрессии q , кг/т:

$$q = 0,6 + 42,25S_H - 56,29S_K - 152,49S_H S_K - 650,09S_H^2 + 1408,66S_K^2 + 4645,18S_H^3 - 13337,9S_K^3 + f(t), \quad (2)$$

где q – расход магния на десульфурацию, кг/т; S_H – исходное содержание серы в чугуне, %; S_K – конечное содержание серы в чугуне, %; $f(t)$ – функция, зависящая от температуры расплава, °C.

К управляющим параметрам процесса десульфурации чугуна магнием относится глубина погружения фурмы, влияющая на эффективность использования магния. При увеличении погружения фурмы расход магния на единицу удаленной серы уменьшается. Это объясняется удлинением пути пузырей паров магния в металле, а также повышением растворимости его паров в расплаве с увеличением ферростатического давления на выходе фурмы.

Влияние глубины погружения фурмы h_ϕ на эффективность использования магния β можно описать математической зависимостью, полученной на основании исследований, представленных в [2]:

$$\beta = -2,175h_\phi + 6,405,$$

где β – эффективность использования магния, кг/кг; h_ϕ – глубина погружения фурмы, м.

К ограничениям следует отнести глубину погружения фурмы в пределах, предусмотренных технологической инструкцией $h_{\phi \min} \leq h_\phi \leq h_{\phi \max}$, максимальную скорость подачи магния, не приводящую к выбросам чугуна, и продолжительность обработки чугуна.

Данные работы [6] показывают, что результаты, полученные в пределах точности промышленного эксперимента, не позволяют установить связь между степенью использования магния при десульфурации природно-легированного чугуна и содержанием в нем кремния. Но в работе [7], посвященной научным аспектам десульфурации металла, показано, что в доменном процессе изменение содержания кремния в чугуне заметно влияет на содержание в нем серы: с уменьшением [Si] на 0,1% содержание серы увеличивается на 0,003%, что может быть представлено уравнением:

$$[S] = 0,058 - 0,033 [Si],$$

где $[S]$, $[Si]$ – соответственно содержание серы и кремния в чугуне, %.

На основе этих данных получены зависимости влияния содержания кремния в чугуне на расход магния при десульфурации магнией-доломитовой смесью. Из рис. 2 следует, что увеличение содержания кремния в чугуне приводит к росту расхода магния на десульфурацию при одинаковом количестве удаленной серы, т. е. содержание Si в чугуне можно отнести к возмущениям, которые будут влиять на удельную себестоимость стали.

При необходимости получения низких содержаний серы целесообразно перенести дальнейшее ее удаления на продувку в конвертере и внепечную обработку стали.

На показатели процесса десульфурации в кислородных конвертерах большое влияние оказывают шлаковый, ду-

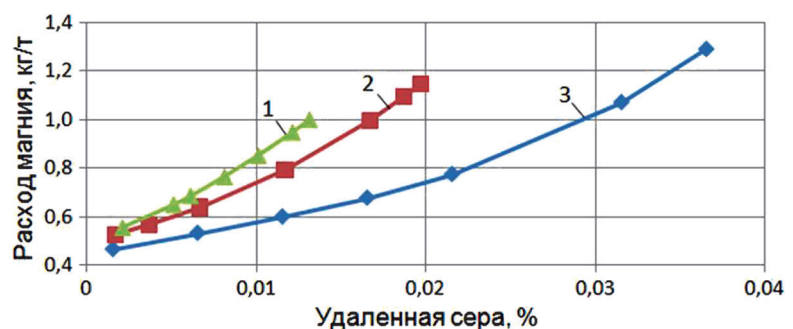


Рис. 2. Влияние содержания кремния в чугуне на расход магния при десульфурации магнией-доломитовой смесью: 1 – 1,3%; 2 – 1,1%; 3 – 0,5%

твовой и температурный режимы плавки [3]. Как показывает практика, в конвертере можно удалить не более 40% серы, попадающей в металл из шихтовых материалов. Так, определяющим фактором в процессе десульфурации является эффективная основность шлака. С увеличением основности увеличивается и степень десульфурации. Однако при увеличении основности выше 3,5, как правило, снижается вязкость шлака, а, следовательно, и его активность, т. е. ухудшаются кинетические условия перехода серы из металла в шлак и его серопоглотительная способность используется не полностью. Снижение вязкости шлака путем уменьшения его основности нерационально. Увеличение окисленности шлака изменением дутьевого режима или присадки железной руды также неэффективно, так как увеличивается окисленность металла и снижается его качество. Влияние содержания закисы железа в шлаке на действительный коэффициент распределения серы проявляется довольно сложно и обусловлено комплексным действием и изменением термодинамических и кинетических условий обессеривания [8]. Зависимость основности шлака от фактического коэффициента распределения серы имеет вид

$$B = \frac{\delta_S - 0,093}{1,063},$$

где B – основность шлака; δ_S – коэффициент распределения серы.

Условия ведения конвертерной плавки – окислительные, в шлаке много оксидов железа, поэтому добиться в конвертере высокой степени десульфурации трудно. Однако определенная часть серы по ходу плавки удаляется частично в шлак, частично в газовую фазу [9].

К управляющим параметрам относятся положение фурмы, расход кислородного дутья, масса и время подачи сыпучих материалов. Повышение положения фурмы над уровнем спокойной ванны приводит к увеличению температуры металла (изменяется количество охлаждающих материалов), окисленности ванны (изменяется количество шлакообразующих извести, плавикового шпата), массовых долей марганца в металле и оксида магния в шлаке (изменяется количество раскислителей и огнеупоров). Аналогично влияет на себестоимость металла и изменение удельного расхода кислорода.

Для реализации процесса глубокой десульфурации металла в конвертерной плавке нужно использовать специальные шлаковые смеси, что требует значительных технико-экономических затрат в сталеплавильном производстве [7] или использование внепечной обработки стали разнообразными реагентами.

Для внепечной обработки стали с целью удаления серы часто применяют силикокальций. При использовании силикокальция увеличивается содержание кремния, поэтому при обработке стали с низким содержанием кремния его применять нецелесообразно. Кроме того, использование того или иного материала зависит от его дефицитности и стоимости. В промышленном производстве при выплавке металла с особыми требованиями по чистоте и пластическим свойствам, например, при выплавке стали для газонефтепроводных труб в северном исполнении используют в основном молотый силикокальций, который подают в потоке инертного газа. Расход порошкообразных материалов и продолжительность обработки зависят от начального и конечного содержания серы в готовой стали, материала футеровки ковша и используемого шлака, производительности пневмонасоса [10]. На рис. 3 приведена зависимость содержания серы в стали от расхода силикокальция при вдувании в ковш с шамотной футеровкой.

После обработки экспериментальных данных [10] статистическим методом с помощью ПЭВМ получили аналитическую формулу для расчета расхода силикокальция на десульфурацию стали q_{SiCa} , кг/т:

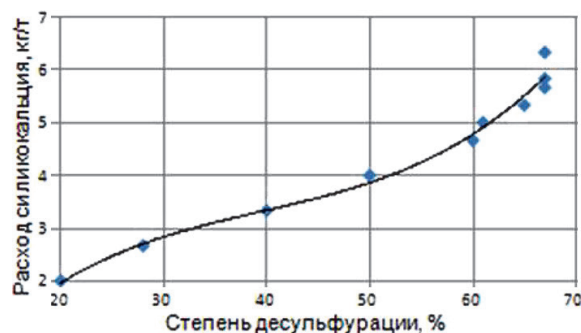


Рис. 3. Зависимость расхода силикокальция от степени десульфурации стали

$$q_{\text{SiCa}} = 6 \cdot 10^{-5} \eta_S^3 - 0,007 \eta_S^2 + 0,344 \eta_S - 2,399,$$

где η_S – степень десульфурации стали, %.

Как видно из рисунка, максимальная степень десульфурации составляет около 70%, дальнейшее увеличение расхода материала не будет приводить к оптимальному управлению процессом удаления серы.

Для дальнейшего повышения эффективности внепечной десульфурации стали путем обработки порошкообразными реагентами необходимо использование ковша с основной футеровкой, создание более благоприятных условий для эмульгирования шлака и протекания

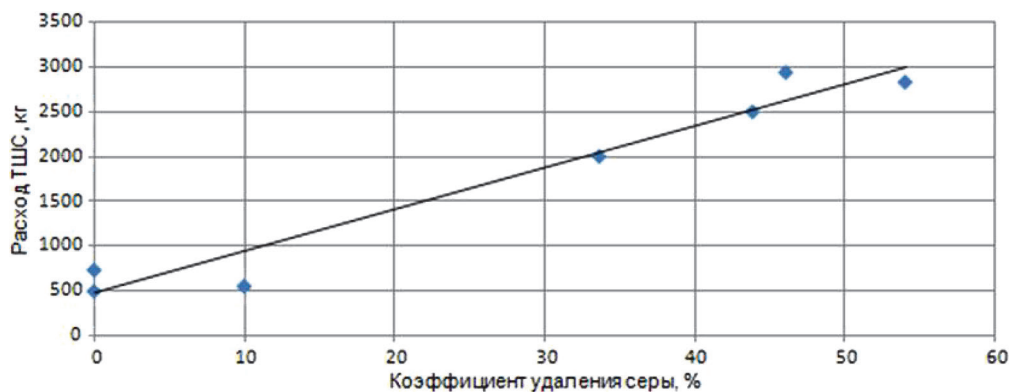


Рис. 4. Зависимость расхода ТШС на десульфурацию стали от коэффициента удаления серы

абсорбционных процессов, что связано с оптимизацией составов и режимов вдувания порошкообразных смесей на основе кальция.

Для десульфурации стали в современных условиях также широко применяется метод обработки стали твердыми шлакообразующими смесями (ТШС), который позволяет повысить качество металла и отказаться от дорогостоящей обработки стали синтетическим шлаком.

Обычно в состав таких смесей входят CaO и CaF_2 . Анализ диаграмм состояния систем $\text{CaO}-\text{CaF}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{CaO}-\text{CaF}_2-\text{SiO}_2$ [11] показал, что для получения шлаков с температурой плавления не выше 1350°C необходимо иметь в них не менее 15–20% CaF_2 .

Используя данные [12], получена зависимость коэффициента удаления серы от расхода ТШС на десульфурацию стали (рис. 4).

Аналитическая формула для расчета расхода ТШС на десульфурацию стали имеет вид $q_{\text{ТШС}}$, кг/т:

$$q_{\text{ТШС}} = 0,213\eta_s^2 + 36\eta_s + 506,3,$$

где η_s – степень десульфурации стали, %.

Обработка металла в ковше ТШС имеет два основных недостатка: малая (по современным требованиям к качеству металла) степень десульфурации и нестабильность получаемых при обработке результатов. К недостаткам данного способа обработки стали можно также отнести жесткие требования к качеству извести и плавикового шпата, необходимость дополнительного перегрева металла для формирования шлака, более высокие теплотери стали (до 50°C) в процессе выпуска, транспортировки и разлива на МНЛЗ. Более высокие потери тепла связаны не только с затратами на формирование шлака, но и с теплоизлучением из-за малой толщины шлака в ковше.

С целью снижения тепловых потерь при десульфурации стали ТШС нужно использовать ограничение, связанное с охлаждающей способностью реагента:

$$1580^\circ\text{C} \leq t_{\text{Me}} - 100 \frac{m_{\text{ТШС}}}{(m_{\text{ч}} + m_{\text{л}}) \cdot 0,9} 24^\circ\text{C} \leq 1650^\circ\text{C},$$

где t_{Me} – температура металла, $^\circ\text{C}$; $m_{\text{ТШС}}$ – масса ТШС, необходимая для десульфурации стали, т; $m_{\text{ч}}$ – масса чугуна на плавку, т; $m_{\text{л}}$ – масса стального лома на плавку.

С учетом полученных зависимостей, ограничений, управляющих воздействий процессов и возмущений можно записать функцию в обобщенном виде:

$$I = f_1(x, y) + f_2(z) + f_3(w) + f_4(w) + f_5(h) + f_6(p),$$

где $f_1(x, y)$ – функция для расчета расхода магния, зависящая от начального и конечного содержания серы в металле; $f_2(z)$ – функция, зависящая от основности шлака в конвертере; $f_3(w)$, $f_4(w)$ – функции для расчета расхода силикокальция и ТШС, зависящие от степени десульфурации стали; $f_5(h)$ – функция, учитывающая влияние глубины погружения фурмы на степень десульфурации; $f_6(p)$ – функция, которая учитывает влияние высоты фурмы при продувке в конвертере и интенсивности дутья на степень десульфурации стали.

Оптимальные значения управляющих параметров определяли методом наискорейшего спуска на ПЭВМ.

Выводы

За последние годы наблюдается тенденция к снижению себестоимости стали, что является следствием освоения проектной мощности агрегатов, дальнейшего совершенствования технологического процесса, повышения стойкости футеровки конвертеров, применения средств механизации и автоматизации технологических процессов.

Для снижения содержания серы в чугуне широко используют магний и магнийсодержащие реагенты. С увеличением расхода магния на удаление серы при низком ее содержании эффективность его использования уменьшается и при определенных значениях становится нецелесообразной. На эффективность десульфурации передельного чугуна также влияет его температура, чем ниже температура жидкого чугуна, тем лучше идет удаление серы из металла. Получены зависимости влияния содержания кремния в чугуне на определения расхода магния при десульфурации чугуна. Установлено, что увеличение содержания кремния в чугуне приводит к росту расхода магния при одинаковом количестве удаленной серы, т. е. содержание Si в чугуне можно отнести к возмущениям, которые будут влиять на удельную себестоимость стали. Получены зависимости для определения расхода материалов для проведения десульфурации на разных участках конвертерного цеха с учетом ограничений, влияющих на эффективность и себестоимость процесса.

Литература

1. Дюдкин Д. А. Преимущества десульфурации чугуна лигатурами системы Fe-Si-Mg / Д. А. Дюдкин, А. М. Зборщик, В. П. Онищук и др. // Сталь. 1999. № 4. С. 26–28.
2. Воронова Н. А. Десульфурация чугуна магнием / Н. А. Воронова. М.: Metallurgiya, 1980. 240 с.
3. Борнацкий И. И. Десульфурация металла / И. И. Борнацкий. М.: Metallurgiya, 1970. 320 с.
4. Вергун А. С. Механизм процесса десульфурации чугуна магнием / А. С. Вергун // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. 2000. № 3. С. 19–22.
5. Москвитин В. И. Metallurgiya legkih metallov / В. И. Москвитин, И. В. Николаев, Б. А. Фомин. М.: МИСиС, 2005. 416 с.
6. Зборщик А. М. Порошковая проволока для глубокой десульфурации чугуна магниевыми реагентами / А. М. Зборщик, В. В. Кисленко, С. Н. Маринцев // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической информации. 2000. № 3–4 (1203–1204). С. 36–38.
7. Югов П. И. Научные аспекты десульфурации металла / П. И. Югов // Metallurg. 1997. № 1. С. 26–29.
8. Бигеев А. М. Metallurgiya stali: Ucheb. dlya vuzov / А. М. Бигеев. М.: Metallurgiya, 1988. 480 с.
9. Turkdogan E. T. Slag composition variations causing variations in steel dephosphorisation and desulphurisation in oxygen steelmaking / E. T. Turkdogan // ISIJ International. 2000. Vol. 40. P. 827–832.
10. Внепечная обработка расплавов. Методические указания по изучению дисциплины. Павлодар: ПГУ им. С. Торайгырова, 2006. 41 с.
11. Атлас шлаков. Справ. изд. / Пер. с нем. М.: Metallurgiya, 1985. 208 с.
12. Чумаков С. М., Зинченко С. Д. Комплексная технология получения низкосернистой стали в ККЦ ОАО «Северсталь» // Тр. 5-го Конгресса сталеплавильщиков. М., 14–17 октября 1998. М., 1999.

References

1. Djudkin D. A., Zborshhik A. M., Onishhuk V. P. et al. Preimushhestva desul'furacii chuguna ligaturami sistemy Fe-Si-Mg [Advantages of desulphurization of cast iron by ligatures of the Fe-Si-Mg system]. *Stal' – Steel*, 1999, no. 4, pp. 26–28.
2. Voronova N. A. *Desul'furacija chuguna magniem* [Desulfurization of cast iron by magnesium]. Moscow, Metallurgija Publ., 1980, 240 p.
3. Bornackij I. I. *Desul'furacija metalla* [Desulphurization of metal]. Moscow, Metallurgija Publ., 1970, 320 p.
4. Vergun A. S. *Mehanizm processa desul'furacii chuguna magniem* [Mechanism of the process of desulphurization of cast iron by magnesium]. *Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost' = Metallurgical and mining industry*, 2000, no. 3, pp. 19–22.
5. Moskvitin V. I., Nikolaev I. V., Fomin B. A. *Metallurgija legkih metallov* [Metallurgy of light metals]. Moscow, MISIS Publ., 2005, 416 p.
6. Zborshhik A. M., Kisenko V. V., Marincev S. N. *Poroshkovaja provoloka dlja glubokoj desul'furacii chuguna magnievymi reagentami* [Powder wire for deep desulfurization of cast iron with magnesium reagent.]. *Chernaja metallurgija. Bjulleten' nauchno-tehnicheskij informacii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific and technical information*, 2000, no. 3–4 (1203–1204), pp. 36–38.
7. Jugov P. I. *Nauchnye aspekty desul'furacii metalla* [Scientific aspects of metal desulfurization]. *Metallurg = Metallurgist*, 1997, no. 1, pp. 26–29.
8. Bigeev A. M. *Metallurgija stali: Uchebnik dlja vuzov* [Metallurgy of Steel: A Textbook for Higher Schools]. Moscow, Metallurgija Publ., 1988, 480 p.
9. Turkdogan E. T. *Slag composition variations causing variations in steel dephosphorisation and desulphurisation in oxygen steelmaking*. *ISIJ International*, 2000, vol. 40, pp. 827–832.
10. *Vnepechnaja obrabotka rasplavov. Metodicheskie ukazanija po izucheniju discipliny* [Ladle treatment of melts. Methodical instructions for the study of discipline]. Editor P. O. Bykov. Pavlodar: S. Toraihyrov Pavlodar State University, 2006, 41 p.
11. *Atlas shlakov. Sprav. izd.* [Atlas slag. Reference book]. Moscow, Metallurgija Pub., 1985, 208 p.
12. Chumakov S. M., Zinchenko S. D. *Kompleksnaja tehnologija poluchenija nizkosernistoj stali v KKC ОАО «Severstal'»* [Complex technology for obtaining low-sulfur steel in the KCTS of ОАО «Severstal'»]. *Proceedings of the 5th Congress of Steel-smelters*. Moscow, 14–17 oktober 1998, Moscow, 1999.



УДК 669.18

Поступила 02.08.2017

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОВОЛОКИ С НАПОЛНИТЕЛЕМ «ТВЕРДЫЙ» КАЛЬЦИЙ ВЗАМЕН ПРОВОЛОКИ С НАПОЛНИТЕЛЕМ «СИЛИКОКАЛЬЦИЙ» В СТАЛЕПЛАВИЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ОАО «БМЗ – УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БМК»

PROSPECTS FOR THE USE OF CORED WIRES WITH FILLER «SOLID» CALCIUM INSTEAD OF CORED WIRES WITH FILLER «SILICO-CALCIUM» IN STEELMAKING OJSC «BSW – MANAGEMENT COMPANY OF HOLDING «BMC»

*А. И. РОЖКОВ, О. М. ГРУДНИЦКИЙ, В. В. НИКОЛАЕВ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37.
E-mail: ibm.tu@bmz.gomel.by, andreyrogkov73@yandex.ru*

A. I. ROZHKOVA, O. M. GRUDNITSKY, V. V. NIKOLAEV, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin city, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: ibm.tu@bmz.gomel.by, andreyrogkov73@yandex.ru

В статье рассматриваются вопросы, связанные с использованием проволоки с экструдированным металлическим кальцием, взамен проволок с наполнителями из силикокальция марок СК30 и СК40 с целью модифицирования включений в жидкой стали. Приведена информация о результатах испытаний проволок с металлическим кальцием в сталеплавильном производстве ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК».

The article examines the issues associated with the use of wires with an extruded calcium metal, instead of wires with the fillers of silico-calcium brands SK40 and SK30, for the purpose of modification of inclusions in liquid steel. Information is provided about the test results of wires with calcium metal in steelmaking OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC».

Ключевые слова. *Электросталь, расплав, стальковш, модифицирование включений, металлический кальций, пирозэффект.*
Keywords. *Elektric steel, the melt, the steel ladle, modification of inclusions, calcium metal, pyroelectric effect.*

В мировой практике производства электростали широкое применение получило использование алюминийсодержащих материалов для раскисления расплавов, выпускаемых из сталеплавильных агрегатов и при последующей внепечной обработке стали. При этом производители электростали столкнулись с проблемой зарастания металлопроводки машин непрерывной разливки стали продуктом раскисления – оксидом алюминия. Наиболее эффективным решением указанной проблемы стало модифицирование включений оксида алюминия посредством присадки в жидкую сталь силикокальция.

Для целей модифицирования включений оксида алюминия в сталеплавильном производстве ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» отработана и применяется технология, при которой используются порошковые проволоки с наполнителями из силикокальция марок СК30 (содержание кальция в пределах от 28 до 32%) и СК40 (содержание кальция в пределах от 40 до 45%). Последний представляет собой механическую смесь дробленых силикокальция и кальция дистиллированного гранулированного. Проволоки диаметром 14 мм поставляются в бухтах различными изготовителями. Ввод проволок в расплав осуществляется трайб-аппаратами со скоростями от 3,0 до 3,5 м/с, обеспечивающими проникновение проволоки на достаточную глубину. При характерных для внепечной обработки стали параметрах окисленности металлической, шлаковой и газовой фаз практически весь кальций через несколько минут после усреднительной продувки находится в металле в виде оксидов CaO и его соединений с корундом $m\text{CaO} \cdot n\text{Al}_2\text{O}_3$. Действующая технология предусматривает использование кальция на

финальной стадии внепечной обработки для модифицирования корундосодержащих неметаллических включений путем перевода их в легкоплавкие алюминаты и алюмосиликаты типа $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$, $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$, $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$. Модифицирование необходимо для более полного удаления неметаллических включений и улучшения разливаемости стали. Во время последующей продувки аргоном большая часть образующихся включений удаляется в шлак, при этом содержание кальция в металле резко снижается. Поэтому при использовании кальция для модифицирования основным параметром, определяющим качество проведенной обработки, является не общее содержание кальция в металле, а разливаемость стали.

В последние годы в связи с ростом мировых объемов производства монолитного электролитического кальция и снижением его стоимости использование данного материала в качестве наполнителей проволок для модифицирования включений в стали находит все более широкое применение. Причем материал применяется в экструдированном виде – стальная оболочка выполняет функцию защиты. Данный вид материала с содержанием кальция от 98,5 до 100,0% получил также наименование «металлический кальций».

Работа по определению возможности использования проволок с наполнителями из экструдированного металлического кальция в сталеплавильном производстве ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» была начата в 2016 г. Для испытаний поступали проволоки от французского и российского производителей двух видов: в стальной оболочке и стальной оболочке с дополнительным термоизоляционным слоем. Использовали проволоки диаметром 10 мм, так как проволоки с наполнителем из экструдированного металлического кальция обладают повышенной жесткостью по сравнению с проволоками с порошковыми наполнителями. Ввод проволок в расплав осуществляли трайб-аппаратами, при необходимости дополнительно их перенастраивая. Первоначальная скорость присадки ограничивалась в диапазоне от 2,5 до 3,0 м/с. Снижение скорости отдачи по сравнению со скоростями, установленными действующей технологией (от 3,0 до 3,5 м/с), было связано с опасениями пироэффекта, выбросов шлака и металла из ковша. Других факторов, снижающих скорость подачи материала (скручивание, перегиб, излом, трещины, раздавливание, раскрытие замка и т. д.), не наблюдалось. При разливке стали случаев затягивания шибера стальной ковша или стаканов и защитных труб промковша не зафиксировано.

К отмеченным достоинствам использования проволоки с наполнителем из экструдированного металлического кальция по сравнению с использованием проволок с наполнителями из силикокальция марок СК30 и СК40 относятся: 1) снижение удельного расхода проволоки; 2) возможность снижения количества присаживаемого кальция, предположительно связанное с улучшением его абсорбции в стали; 3) стабильный удельный вес наполнителя по длине инъекционной проволоки; 4) отсутствие прироста кремния, что особенно актуально при производстве низкремнистых марок стали.

Единственным выявленным, но существенным недостатком присадки проволоки с металлическим кальцием является наличие пироэффекта, сопровождавшегося выбросами металла и шлака из ковша. Выбросы приводили к налипанию шлака и металла на элементы оборудования, прогару подводящих инертный газ к стальной ковше быстросъемных резиновых шлангов. Следует указать, что пироэффект при использовании проволоки в исполнении с дополнительным термоизоляционным слоем наблюдался в меньшей степени, чем в исполнении только в одной стальной оболочке. Негативные последствия пироэффекта можно минимизировать снижением уровня расплава в стальной ковше, однако это приведет к ухудшению всех производственных и экономических показателей. Попытка минимизировать выбросы шлака и металла из ковша снижением скорости присадки проволоки успехом не увенчалась, так как на скорости ввода от 2,0 до 2,5 м/с существенного уменьшения пироэффекта не наблюдалось, а дальнейшее снижение скорости могло привести к снижению эффективности модифицирования.

Проведенные испытания показали принципиальную возможность использования проволок с экструдированным металлическим кальцием взамен проволок с наполнителями из силикокальция марок СК30 и СК40 в сталеплавильном производстве ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» с целью модифицирования включений на основе оксида алюминия. Окончательную оценку целесообразности такой замены еще предстоит определить в ходе последующей работы.



УДК 669.017:669.112.227.3:669.15*26*26-194

Поступила 01.08.2017

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ АУСТЕНИТИЗАЦИИ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ОХЛАЖДЕНИИ ХРОМОМОЛИБДЕНОВОЙ СТАЛИ

THE IMPACT OF AUSTENITIZATION TEMPERATURE ON A STRUCTURES FORMATION UNDER CONTINUOUS COOLING OF THE CHROMO-MOLYBDENUM STEEL

*В. А. ЛУЦЕНКО, Т. Н. ГОЛУБЕНКО, О. В. ЛУЦЕНКО, Институт черной металлургии
им. З. И. Некрасова НАН Украины, г. Днепр, Украина, пл. Академика Стародубова, 1.*

E-mail: lutsenko@optima.com.ua,

*Н. А. ГЛАЗУНОВА, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл.,
Беларусь, ул. Промышленная, 37*

*V. A. LUTSENKO, T. N. GOLUBENKO, O. V. LUTSENKO, Z. I. Nekrasov Iron & Steel Institute of the
National Academy of Sciences of Ukraine, Dnepr city, Ukraine, 1, Starodubov area.*

E-mail: lutsenko@optima.com.ua

*N. A. GLAZUNOVA, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin city, Gomel region,
Belarus, 37, Promyshlennaya str.*

Изучено влияние изменения размера аустенитного зерна хромомолибденовой стали на кинетику распада при непрерывном охлаждении. Показано, что при укрупнении зерна с повышением температуры аустенизации с 850 до 1050 °С в структуре хромомолибденовой стали увеличивается устойчивость переохлажденного аустенита в процессе распада по промежуточному и сдвиговому механизму, что способствует снижению критической скорости закалки.

The impact of the austenite grain growth of chromo-molybdenum steel on the kinetics of structural decomposition under continuous cooling was studied. It is shown that when the grain is enlarged with an increase in the austenitization temperature from 850 till 1050 °C, the stability of the supercooled austenite in the structure of the chromo-molybdenum steel during the decay process by the intermediate and shear mechanism increases, which contributes to a decrease in the critical quenching rate.

Ключевые слова. *Хромомолибденовая сталь, аустенизация, температура, размер зерна, охлаждение, структура.*

Keywords. *Chrome-molybdenum steel, austenitization, temperature, grain size, cooling, structure.*

Современное машиностроение предъявляет все более высокие требования к эксплуатационным свойствам материалов. Применяя различные технологические схемы термической обработки легированного проката, можно изменять прочностные свойства путем воздействия на процессы структурообразования. Механические и эксплуатационные свойства металла определяются структурой металла, которая зависит от химического состава, условий деформации, температуры и режима охлаждения.

Стали, подвергающиеся упрочнению, легируют карбидообразующими элементами, повышающими устойчивость переохлажденного аустенита [1], улучшая закаливаемость. Для производства ответственных деталей (валов, шестерен, дисков, турбин), к которым предъявляют требования высокой прочности, вязкости и износостойкости, применяются среднеуглеродистые стали, легированные хромом и молибденом.

Традиционно основные параметры термической обработки устанавливаются на основании построенных термокинетических либо изотермических диаграмм. Кинетика распада аустенита и соответственно вид термокинетической диаграммы зависят от химического состава стали, однако на нее может оказывать влияние также величина исходного зерна, которая зависит от температуры аустенизации.

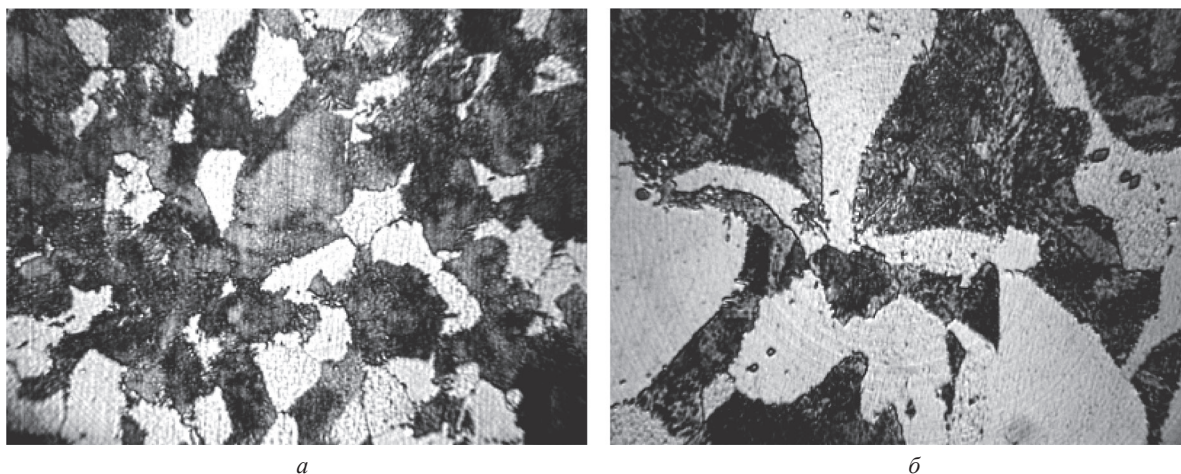


Рис. 1. Микроструктура стали 42CrMo4 после нагрева до температур 850 °С (а), 1050 °С (б) и последующего охлаждения в печи. $\times 500$

Цель работы – изучить влияние температуры нагрева (аустенитизации) и соответственно размера формируемого аустенитного зерна хромомolibденовой стали на особенности структурообразования при непрерывном охлаждении в различных условиях.

Исходным материалом для исследований служили образцы проката диаметром 140 мм непрерывно-литой вакуумированной хромомolibденовой стали марки 42CrMo4 производства ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» следующего химического состава: 0,385%С, 0,228%Si, 0,736%Mn, 1,035%Cr, 0,243%Mo, 0,010%P, 0,024%S.

Нагрев образцов проводили до температур 850 и 1050 °С с выдержкой полчаса и охлаждением до комнатной температуры при различных условиях: с печью (0,03–0,07 °С/с), в муфеле (0,4–0,8 °С/с), на воздухе (2–8 °С/с), в воде (250–300 °С/с).

Исследование структуры проводили с использованием микроскопа «НЕОФНОТ 2». Структуру оценивали по ГОСТ 8233-56, микротвердость – по ГОСТ 9450-76 (с использованием микротвердомера «ПМТ-3» с нагрузкой 100 г), величину зерна определяли по ГОСТ 5639-82.

Хромомolibденовая сталь марки 42CrMo4 производится согласно требованиям европейского стандарта EN 10083. Отечественным аналогом стали служат стали марки 35ХМ и 38ХМ по ГОСТ 4543-71.

В настоящий момент существует построенная нами термокинетическая диаграмма для стали 42CrMo4 [2] и ближайшего аналога 35ХМ [3]. Как было показано ранее для стали 31CrMoV9 [4], на кинетику распада аустенита может оказывать влияние температура аустенитизации.

Исследования влияния температуры нагрева на величину зерна аустенита хромомolibденовой стали проводили согласно ГОСТ 5639-82 после закалки в воде. Основная часть зерен (73%) при температурах нагрева 850–1050 °С отвечала 5-му номеру. С повышением температуры количество зерен 6-го номера снизилось с 25 до 6%, а 4-го номера повысилось от 2 до 22%.

В ранее изученной стали, дополнительно легированной ванадием [5], разница в размере зерен более существенная (разнозернистость от 4-го до 7-го номера).

После аустенитизации и медленного охлаждения с печью структура исследуемой стали марки 42CrMo4 состояла из феррита и пластинчатого перлита различной дисперсности (рис. 1).

Увеличение размера аустенитного зерна при повышенных температурах (1050 °С) привело к образованию крупных зерен перлита и феррита. В этом случае температура нагрева повлияла на размер зерна структурных составляющих, не влияя на кинетику распада аустенита.

Ускорение охлаждения (охлаждение в муфеле) после нагрева до различных температур привело к изменению структурного состояния. Структура исследуемой стали состояла из бейнита, перлита и феррита. Причем количественное соотношение структурных составляющих различалось. Количество бейнита, образующегося при охлаждении с температур аустенитизации 850 °С, составляет 40–50% (рис. 2, а). С повышением температуры аустенитизации до 1050 °С образуется 65–75% бейнита (рис. 2, б), что свидетельствует о повышении устойчивости переохлажденного аустенита (смещение линий превращений на термокинетической диаграмме). Увеличение средних значений микротвердости структурных составляющих исследованной стали (см. таблицу) подтверждает повышение устойчивости распада аустенита, превращение которого проходит при более низких температурах.

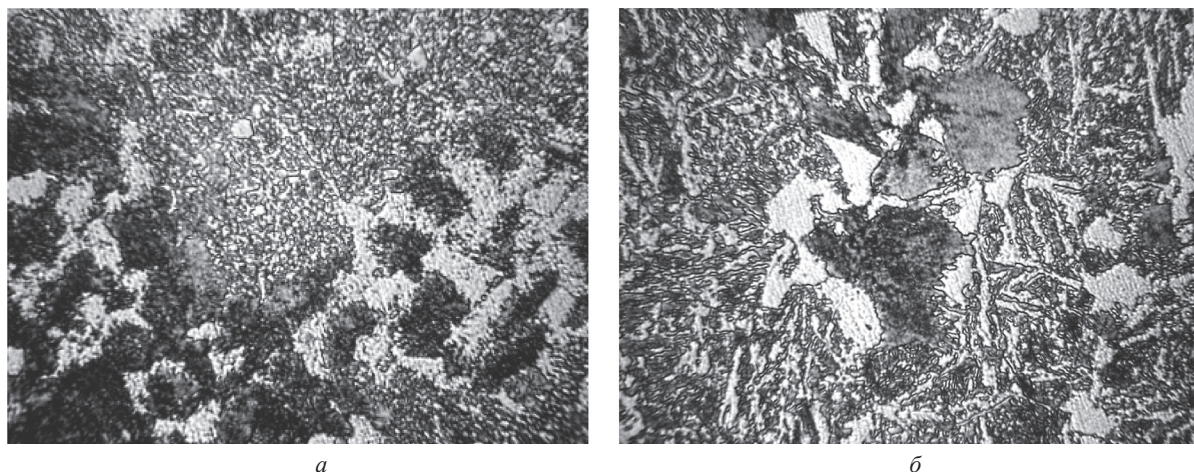


Рис. 2. Микроструктура стали 42CrMo4 после нагрева до температур 850 °С (а), 1050 °С (б) и последующего охлаждения с муфелем. $\times 500$

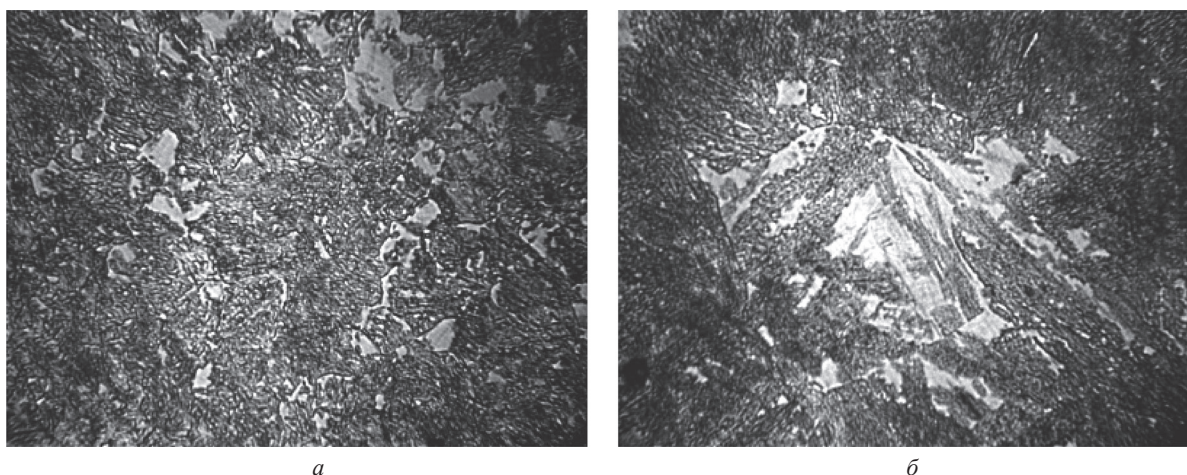


Рис. 3. Микроструктура стали 42CrMo4 после нагрева до температур 850 °С (а) и 1050 °С (б) и последующего охлаждения на воздухе. $\times 500$

Влияние температуры аустенитизации хромомолибденовой стали на значения микротвердости формируемых структур

Температура аустенитизации, °С	Средние значения микротвердости по структурным составляющим, Н/мм ²	
	бейнит	перлит
850	3215	2671
1050	4603	4331

Следовательно, повышение температуры аустенитизации хромомолибденовой стали замедляет протекание промежуточного превращения.

После процесса аустенитизации и последующего повышения скорости охлаждения (на воздухе) структура хромомолибденовой стали состояла из бейнита и мартенсита (рис. 3).

С повышением температуры нагрева (аустенитизации) количество мартенситной структуры увеличивается и составляет: 10–15% при 850 °С (рис. 3, а) и 30–45% при 1050 °С (рис. 3, б).

Следовательно, повышение температуры аустенитизации сталей, легированных хромом и молибденом, при непрерывном охлаждении приводит к изменению кинетики распада аустенита в бейнитной и мартенситной областях: к увеличению устойчивости переохлажденного аустенита и снижению критической скорости закали.

Выводы

Изучены особенности структурообразования в хромомолибденовой стали после нагрева до различных температур аустенитизации (850, 1050 °С) и последующего непрерывного охлаждения в различных условиях. Выявлено, что повышение температуры аустенитизации приводит к укрупнению зерен хромомолибденовой стали, что в процессе распада по промежуточному и сдвиговому механизму обеспечивает

замедление протекания распада, повышение устойчивости переохлажденного аустенита и повышение закаливаемости.

Литература

1. **Металлография** железа. Структура сталей (с атласом микрофотографий) / Под ред. Ф. Н. Тавадзе. М.: Металлургия, 1972. 284 с.
2. **Особенности** формирования структуры в сортовом прокате из конструкционной легированной электростали / В. А. Луценко, П. А. Бобков, Т. Н. Голубенко, Л. А. Дробышевский, А. С. Козачек и др. // Бюл. науч.-техн. и эконом. информ. «Черная металлургия». 2013. № 1. С. 63–66.
3. **Попова Л. Е.** Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана / Л. Е. Попова, А. А. Попов. М.: Металлургия, 1991. 503 с.
4. **Особенности** кинетики распада и структурообразования в хромомolibденованадиевой стали при непрерывном охлаждении от различных температур аустенитизации / В. А. Луценко, Т. Н. Голубенко, О. В. Луценко, Н. А. Глазунова // Литье и металлургия. 2016. № 3. С. 82–86.
5. **Влияние** температуры аустенитизации на величину зерна стали 31CrMoV9 / В. А. Луценко, Т. Н. Голубенко, О. В. Луценко, С. Н. Шехурдин // Литье и металлургия. 2016. № 2. С. 52–55.

References

1. **Metallografija zheleza. Struktura stalej (s atlasom mikrofotografij)** [Metallography of iron. Structure of steels (with atlas of microphotographs)]. Moscow, Metallurgija Publ., 1972, 284 p.
2. **Lutsenko V. A., Bobkov P. A., Golubenko T. N., Drobyshevskij L. A., Kozachek A. S., Lutsenko O. V., Gricenko V. I.** Osobennosti formirovaniya struktury v sortovom prokate iz konstrukcionnoj legirovannoj jelektrostali [Features of the formation of the structure in the rolled products of structural alloyed steel]. *Chernaja metallurgija = Ferrous metallurgy*, 2013, no. 1, pp. 63–66.
3. **Popova L. E., Popov A. A.** *Diagrammy prevrashhenija austenita v staljah i beta rastvora v splavah titana* [Diagrams of transformation of austenite in steels and beta solution in titanium alloys]. Moscow, Metallurgija Publ., 1991, 503 p.
4. **Lutsenko V. A., Golubenko T. N., Lutsenko O. V., Glazunova N. A.** Osobennosti kinetiki raspada i strukturoobrazovanija v hromomolibdenovanadievoj stali pri nepreryvnom ohlazhdenii ot razlichnyh temperatur austenitizacii [Features of the kinetics of decay and formation of structure in chromo-molibdenum-vanadium steel at continuous cooling from different temperatures of austenitization]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2016, no. 3, pp. 82–86.
5. **Lutsenko V. A., Golubenko T. N., Lutsenko O. V., Shehurdin S. N.** Vlijanie temperatury austenizacii na velichinu zerna stali 31CrMoV9 [Effect of temperature of austenitizing grain size steel 31CrMoV9]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2016, no. 2, pp. 52–55.



УДК 660.112.227

Поступила 09.08.2017

ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИИ АЛМАЗНЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ МИКРОПОРОШКОВ НА КАЧЕСТВО ОБРАБОТКИ КАНАЛА ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ВОЛОК

THE INFLUENCE OF MORPHOLOGY OF DIAMOND SYNTHETIC MICROPOWDER ON QUALITY OF PROCESSING OF THE CHANNEL OF CARBIDE DRAWING DIES

Е. С. ЕЛЬЦОВА, С. А. КОРШУК, И. П. ЛАЗЕБНИКОВА, М. В. ЗАЙЦЕВА, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37.

E-mail: es.elcova@bmz.iron

E. S. ELTSOVA, S. A. KORSHUK, I. P. LAZEBNIKOVA, M. V. ZAYTSEVA, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin city, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str.

E-mail: es.elcova@bmz.iron

В статье рассмотрено влияние гранулометрического состава и морфологии алмазных синтетических микропорошков марки АСМ зернистостью 7/3 на качество обработки твердосплавных волок. Установлена взаимосвязь между формой частиц алмазных синтетических микропорошков и их абразивной способностью.

The influence of particle sizes and morphology of diamond synthetic micropowder of the ASM brand by a graininess 7/3 on quality of processing of carbide drawing dies is researched. The interrelation between a form of particles of diamond synthetic micropowder and their abrasive ability is established.

Ключевые слова. Алмазный порошок, абразивная способность, зернистость алмазного порошка, алмазное зерно, коэффициент формы, кристаллическая форма алмаза, морфологические характеристики.

Keywords. Diamond powder, abrasive ability, graininess of diamond powder, diamond grain, mold ratio, crystal form of diamond, morphological characteristics.

Введение

Одним из основных технологических инструментов, применяемых при производстве такой высоко-технологической продукции, как металлокорд, являются твердосплавные волокна, которые применяются на стадиях грубосреднего и тонкого волочения. От качества волок напрямую зависит качество проволоки и, как следствие, самого металлокорда. Очевидно, что качество волочильного инструмента будет определяться качеством твердого сплава и геометрическими параметрами очага деформации (канала волок). На ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» обработку канала волок осуществляют алмазными синтетическими порошками различной зернистости. При этом неоднократно отмечались случаи, когда порошки идентичной марки и зернистости от разных поставщиков, прошедшие входной контроль, имели существенные различия в качестве обработки твердосплавных волок. Для установления причин в рамках данной работы было определено влияние морфологических характеристик алмазного синтетического микропорошка марки АСМ зернистостью 7/3 на его абразивную способность и качество обработки твердосплавленных волок.

Для проведения исследования был выбран порошок марки АСМ зернистостью 7/3 от двух различных поставщиков. Перед проведением эксплуатационных испытаний произвели входной контроль данных порошков в соответствии с действующей на БМЗ методикой. На предметное стекло отбирали пробы порошков с добавлением нескольких капель концентрата классифицированного раствора, разравнивая содержимое в один слой так, чтобы зерна не прикрывали друг друга. При помощи металлографического микроскопа определяли размер зерен. Данные входного контроля приведены в табл. 1.

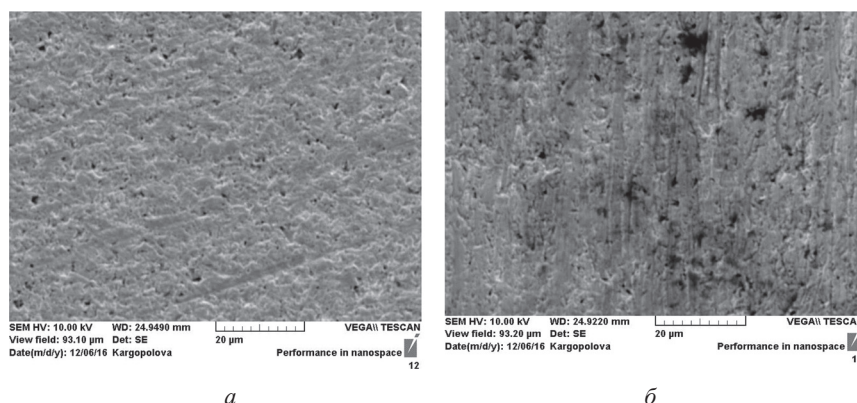


Рис. 1. Поверхность канала волокна после шлифовки порошком марки АСМ зернистостью 7/3: а – поставщик 1; б – поставщик 2. $\times 2000$

Таблица 1. Входной контроль опытных алмазных синтетических микропорошков марки АСМ зернистостью 7/3

Марка порошка	Поставщик	Размер зерен для фракции, мкм	Доля зерен, %	Требования ГОСТ 9206-80, доля зерен, %
АСМ – 7/3	1	Крупная – св.7 до 10	0,25	Не более 2
		Основная – от 7 до 3	95,75	Не менее 85
		Мелкая – от 2 до 1	0,25	Не более 5
	2	Крупная – св.7 до 10	0,25	Не более 2
		Основная – от 7 до 3	95,5	Не менее 85
		Мелкая – от 2 до 1	–	Не более 5

Из таблицы видно, что гранулометрический состав порошков марки АСМ зернистостью 7/3 от обоих поставщиков соответствует ГОСТ 9206-80. Наличие крупных зерен находится на одном уровне и составляет 0,25%.

Далее данные порошки были использованы для шлифовки рабочего конуса твердосплавных волок по действующей на БМЗ технологии. Результаты эксплуатационных испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты эксплуатационных испытаний порошков марки АСМ зернистостью 7/3

Марка порошка	Поставщик	Среднее количество обработанных волок в смену, шт.	Количество отбракованных волок, %
АСМ – 7/3	1	420	5,5
	2	653	30,0

Примечание. Отбраковке подвергли волокна с наличием грубых царапин на поверхности канала и неудовлетворительным качеством полировки (наличием повышенной шероховатости) поверхности канала.

Как видно из таблицы, производительность оборудования при использовании порошка от поставщика 2 на 50% выше в сравнении с порошком от поставщика 1. При этом количество несоответствующих волок у производителя 2 составило 30,0%, что нивелирует разницу в производительности.

На рис. 1 показаны микрофотографии поверхности канала волокна после шлифовки порошком марки АСМ зернистостью 7/3 от различных поставщиков.

Как видно из рисунка, при шлифовке порошком марки АСМ зернистостью 7/3 от поставщика 2 волокно имеет более шероховатую и «ребристую» поверхность в отличие от волок, обработанных порошком от поставщика 1.

Для определения причин существенного различия в качестве шлифовки волок алмазными синтетическими порошками, имеющими идентичный гранулометрический состав, произвели оценку их морфологических особенностей.

Абразивные зерна имеют разную форму: неправильную многогранную форму с острыми режущими элементами; удлиненную форму – мечевидные, иглообразные и др. Изометричные зерна имеют более округлую форму. Категорию зернистости сверхтвердых абразивов классифицируют по ГОСТ 9206-70 – для алмазных зерен, а также по ГОСТ 3647-71 – для твердых и мягких абразивных зерен.

В соответствии с данными, представленными на рис. 2, можно сделать вывод о том, что у порошка от поставщика 1 форма зерен имеет более округлую форму. Зерна порошка от поставщика 2 имеют острые зазубренные кромки. Зерна с острыми углами и меньшим радиусом округления значительно лег-

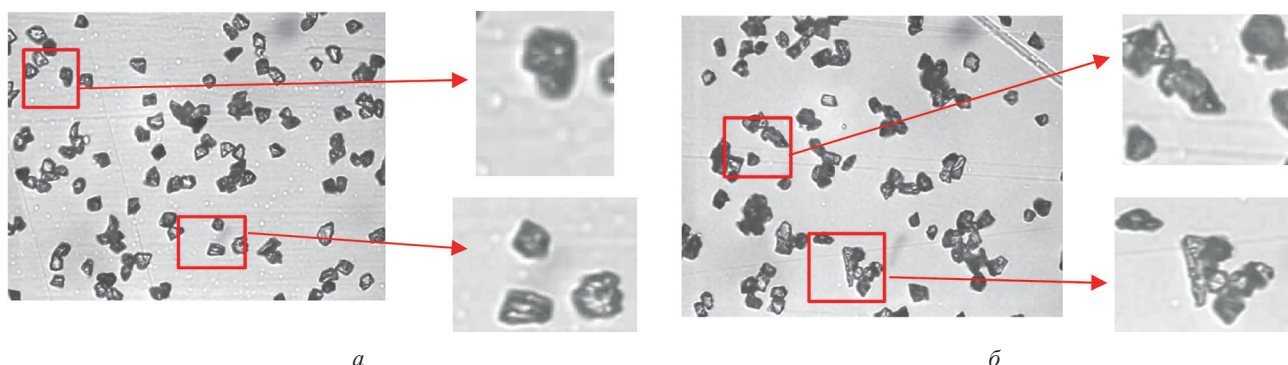


Рис. 2. Микрофотографии зерен алмазных синтетических порошков марки АСМ зернистостью 7/3: а – поставщик 1; б – поставщик 2

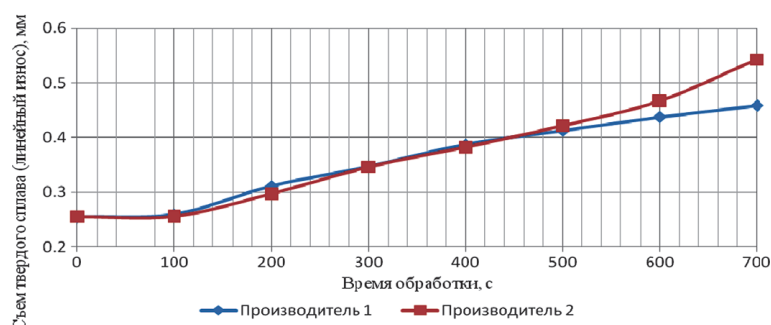


Рис. 3. Зависимость величины съема твердого сплава (линейный износ) от времени обработки

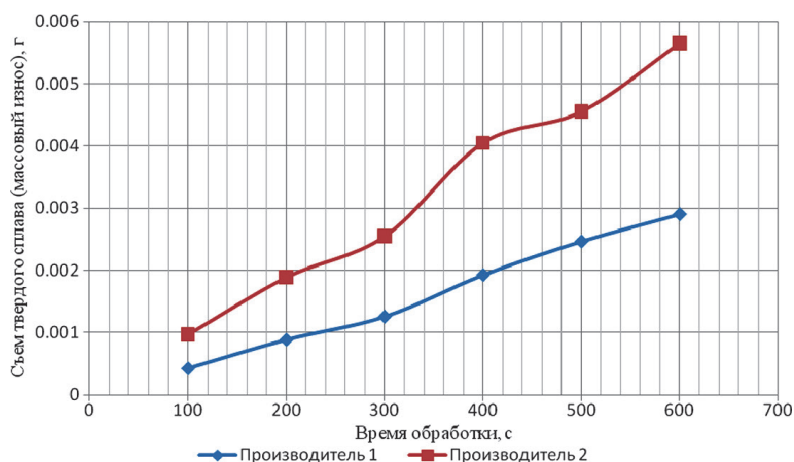


Рис. 4. Зависимость величины съема твердого сплава (массовый износ) от времени обработки

че проникают в обрабатываемый материал, обеспечивают хорошую абразивную способность, но могут оказать отрицательное влияние на качество поверхности (нанесение рисок и царапин). Результаты оценки морфологических особенностей алмазного синтетического порошка хорошо согласуются с результатами эксплуатационных испытаний (табл. 2, рис. 1).

Для подтверждения полученных результатов произвели оценку абразивной способности алмазного синтетического порошка марки АСМ зернистостью 7/3 от разных поставщиков (с разными морфологическими особенностями). Абразивная способность алмазных синтетических порошков определяется в соответствии с ГОСТ 9206-80. В связи с отсутствием на БМЗ специальных устройств и материалов, которые применяются в соответствии с ГОСТ 9206-80, определение абразивной способности осуществляли на действующем оборудовании, применяемом для обработки твердосплавных волок. Линейный износ волок определяли на установке для автоматического измерения диаметра «Сопортиса»; массовый износ – на лабораторных весах ВЛТЭ-Т. Измерение линейного и массового износа осуществляли на 10 волокнах каждые 100 с с заменой иглы для шлифования. Результаты эксперимента приведены на рис. 3, 4.

Как видно из рисунков, порошок от поставщика 2, который имеет зерна с острыми кромками, существенно превосходит по абразивной способности порошок от поставщика 1 с зернами более «округлой»

формы. Полученные данные хорошо согласуются с теоретическими выкладками и результатами эксплуатационных испытаний.

Таким образом, на качество и абразивную способность алмазных синтетических порошков, кроме гранулометрического состава, существенное влияние оказывает их морфология: порошки с зернами «округлой» формы позволяют снизить количество брака при шлифовке канала твердосплавных волок, но при этом имеют более низкую абразивную способность и, как следствие, снижают производительность оборудования. Порошки, имеющие в своем составе большое количество зерен с острыми кромками, позволяют значительно повысить производительность шлифовального оборудования, но при этом снижается качество изготавливаемых волок. При промышленном применении алмазных синтетических порошков необходимо учитывать их морфологические особенности для одновременного обеспечения производительности и качества изготавливаемых твердосплавных волок.



УДК 620.771

Поступила 18.08.2017

ВЫБОР ЭКОНОМИЧЕСКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СТРУЖКИ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ В ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧАХ НА ОАО «БМЗ – УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БМК»

THE CHOICE OF ECONOMICALLY EXPEDIENT USE OF FERROUS METALS CHIPS IN ARC STEEL-SMELTING FURNACES ON OJSC «BSW – MANAGEMENT COMPANY OF HOLDING «BMC»

*А. И. РОЖКОВ, О. М. ГРУДНИЦКИЙ, А. В. ФЕКЛИСТОВ, Д. Л. КОНОВАЛОВ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37.
E-mail: andreYROgkov73@yandex.ru*

*A. I. ROZHKOVA, O. M. GRUDNITSKY, A. V. FEKLISTOV, D. L. KONOVALOV, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin city, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str.
E-mail: andreYROgkov73@yandex.ru*

В статье раскрывается проблема эффективного использования альтернативного сырья металлургической отрасли – стружки черных металлов, рассматриваются варианты ее применения, приводится разработанный организационно-экономический процесс, способствующий получению положительного экономического эффекта.

The problem of effective use of the alternate raw materials of metallurgical branch – shaving of ferrous metals chips is described in the article. The options of application are considered, the developed organizational and economic process promoting obtaining positive economic effect is given.

Ключевые слова. Стружка черных металлов, альтернативный материал, снижение материалоемкости, экономический риск, организационно-экономический процесс, экономическая эффективность.

Keywords. Ferrous metals chips, the alternate material, decrease in a material capacity, economic risk, organizational and economic process, economic efficiency.

В силу природы металлургического производства – его высокой материалоемкости, реализация потенциального экономического эффекта при использовании стружки черных металлов является актуальной проблемой для ОАО «Белорусский металлургический завод – управляющая компания холдинга «Белорусская металлургическая компания».

Металлическая стружка, образующаяся в качестве отходов производства машиностроительной отрасли, широко используется в металлургии как дополнительный источник сырья. Из-за небольших размеров ее отдельных частиц и малой насыпной плотности перед плавкой стружка проходит процесс брикетирования. Брикетирование в значительной степени сокращает контактную поверхность стружки, снижая тем самым угар во время ее использования.

Переработанную по данной технологии стружку планировалось применять в сталеплавильном производстве БМЗ. Процесс обеспечения сырьем предполагалось осуществлять в несколько этапов:

- сбор вьюнообразной стружки из различных областей России;
- брикетирование стружки;
- транспортировка брикетированной стружки конечному потребителю.

С точки зрения логистического расположения оптимальным участком для брикетирования стружки черных металлов является территория БМЗ. В этом случае, являясь основным потребителем данного сырья, предприятие получает прямой экономический эффект за счет экономии на транспортных расходах путем снижения на одну операцию отгрузки и выгрузки сырья из железнодорожных вагонов.



Рис. 1. Стружка черных металлов: а – брикетированная; б – вьюнообразная

На этапе детального бизнес-планирования был выявлен ряд негативных факторов проекта, которые повышают вероятность возникновения экономических рисков, таких, как:

1. Недостаточный объем данного вида сырья на внутреннем рынке и, как следствие, зависимость от субъектов внешней среды предприятия – поставщиков Российской Федерации. Теоретически возможный вариант поставки малых объемов вьюнообразной стружки, в итоге, скажется на показателе ритмичности загрузки участка брикетирования. В этом случае при недопоставке исходного сырья участок получит прямые экономические потери на увеличении стоимости переработки 1 т сырья за счет роста условно-постоянной части затрат. В ином случае, поставка, превышающая производственную мощность участка, приведет к снижению скорости оборота оборотных средств, тем самым, снизит эффективность их использования.

2. Изменение конъюнктуры рынка и вероятное возникновение ценовых условий, при которых использование брикетированной стальной стружки будет экономически нецелесообразным. В частности, при определенном соотношении цен на стальную стружку и лом категории 3А.

Параллельно, в качестве альтернативного проекта, проводили исследование загрузки в дуговую сталеплавильную печь небрикетированной стальной стружки. Преимущество исследуемой технологии использования стружки обусловлено снижением издержек на капитальные вложения, так как не требует дополнительного оборудования, а квалификация инженерно-технического и рабочего персонала позволяет оперативно организовать и осуществить данный технологический процесс. При этом проблема увеличения угара при выплавке частично решается путем изменения технологического процесса завалки шихтовочной корзины: стружка загружается на дно корзины, далее производится завалка основного металлолома, который прижимает лежащую внизу стружку. При выгрузке из корзины в печь стружка достаточно быстро оказывается в жидком металле, что обеспечивает снижение угара и, как следствие, сокращает потери выхода годной непрерывнолитой заготовки.

После использования нескольких тысяч тонн стружки были получены следующие результаты:

- при поступлении стружки стальной, не соответствующей требованиям ГОСТ 2787-75 по промасленности, объем использования не должен превышать 10 т на одну плавку (по 5 т в одну корзину);
- при поступлении стружки стальной, соответствующей требованиям ГОСТ 2787-75 по промасленности, объем использования не должен превышать 20 т на одну плавку (по 10 т в одну корзину);
- основные технологические показатели плавки с использованием стружки и без нее, кроме расходного коэффициента металлошихты, сопоставимы;
- небрикетированная стальная стружка в рамках расчетной предельной цены может быть использована в количестве до 20 т при шихтовке плавки определенных марок сталей, имеющих ограничения по содержанию $Ni \leq 0,20\%$, $Cr \leq 0,20$ и $Cu \leq 0,40\%$.

На основании полученных технических результатов с учетом текущей конъюнктуры сырьевого рынка был разработан организационно-экономический процесс, обеспечивающий минимизацию экономических рисков при использовании альтернативного материала, который состоит из ряда последовательных и параллельных элементов организационного и технико-экономического характера:

- экспертное решение о целесообразности использования альтернативного материала в производственном процессе;



Рис. 2. Блок-схема организационного процесса использования альтернативного материала

- на основании технико-экономических данных, полученных эмпирически путем проведения балансовых плавов, о выходе годного металла, а также изменения издержек на единицу произведенной продукции, обусловленной разницей в стоимости применяемых материалов, производится обоснованное заключение и рекомендации об экономической целесообразности использования альтернативного материала (см. рисунок);

- непосредственное использование альтернативного материала в серийном производстве с параллельным процессом ежедневного мониторинга и анализа на предмет определения экономического эффекта;

- итоговый вывод и отчет о полученном экономическом эффекте при использовании альтернативного материала за отчетный период;

- коллегиальное экспертное решение о целесообразности дальнейшего использования альтернативного материала, разработка корректирующих технико-организационных мероприятий.

Таким образом, в ходе работы, проведенной специалистами технической, экономической, исследовательской и снабженческой службами, под организацией и координированием управленческим персоналом была разработана и внедрена в производство технология использования небрикетированной стальной стружки, которая при определенных технико-экономических условиях является более выгодной с экономической точки зрения, чем стандартная, с предварительным брикетированием.

Заключение об экономической эффективности и последующее промышленное применение материала базируется на эмпирически полученных данных, подтвержденных в ходе разработанного циклически повторяющегося организационно-экономического процесса.



УДК 669.18

Поступила 01.08.2017

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОКАТА МЕЛКОСОРТНО-ПРОВОЛОЧНОГО СТАНА 150

ОАО «БМЗ – УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БМК»

WAYS TO INCREASE QUALITY OF PRODUCTS AT THE BAR STOCK WIRE ROLL MILL 150 IN OJSC «BSW» – MANAGEMENT COMPANY OF HOLDING «BMC»

И. А. ЗУЕВ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: zuyeu-ivan@rambler.ru,

Ю. Л. БОБАРИКИН, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, г. Гомель, Беларусь, пр. Октября, 48. E-mail: kaf_metallurgy@gstu.by

I. A. ZUYEU, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin city, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: zuyeu-ivan@rambler.ru

YU. L. BOBARIKIN, Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoj, Gomel city, Belarus, 48, Oktyabrya ave. E-mail: kaf_metallurgy@gstu.by.

В статье рассматривается совершенствование калибровки прокатных валков мелкосортно-проволочного стана 150 с целью повышения точности геометрических размеров прокатываемого профиля.

The issues of perfecting of calibrating of rolling rolls of bar stock wire roll mill 150 to increase in accuracy of the geometrical sizes of the rolled profile is considered.

Ключевые слова. Проволочный стан, прокатная шайба, калибр, калибровка, метод конечных элементов, обжатие.

Keywords. Wire roll mill, rolling ring, caliber, calibrating, finite element method, cobbing.

Среди характеристик качества сортового проката по-прежнему важными являются показатели точности геометрических размеров прокатываемых профилей. Традиционно особое внимание уделяется точности таких видов сортового проката, как катанка. Это объясняется достаточно малыми размерами профилей и жесткими допусками на геометрические размеры. Несмотря на широкое внедрение новых технологических процессов прокатки и нового оборудования сортовых и проволочных станов, вопросы обеспечения высокой точности прутков и катанки нельзя считать полностью решенными [1].

Для повышения точности прокатки круглой стали необходимо стремиться к уменьшению колебаний размеров по высоте, ширине и «плечам» профиля, что и обуславливает комплексный характер решения данной задачи. В зависимости от условий прокатки и, в частности, от сортамента прокатки и объема производства эта задача может быть решена путем совершенствования технологического процесса прокатки, конструкции рабочих клетей, использования специальных калибрующих клетей, применения различных систем калибровок, автоматизации регулирования натяжения прокатываемой полосы и поднастройки клетей.

Исследованиями точности прокатки круглой стали на среднесортном и проволочном станах показано, что поле разброса размеров по «плечам» профиля составляет 30–50% от величины поля допуска обычной точности, в значительной мере увеличивая суммарное поле разброса размеров и овальность поперечного сечения профиля.

Исходя из указанной проблематики улучшения качественных характеристик катанки и увеличения результативности процесса ее производства, целью работы является достижение более высокого качества катанки по точности при непрерывной сортовой прокатке на основе выявления и использования

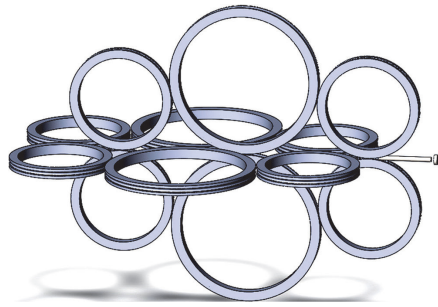


Рис. 1. Трехмерная математическая модель процесса прокатки

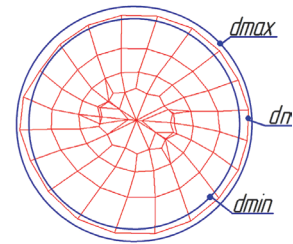


Рис. 2. Схема поперечного сечения катанки с указанием предельных допусков на геометрические размеры

количественных связей между калибровкой прокатных валков калибровочного блока и геометрическими характеристиками профиля.

В данной работе анализируется эффективность применения калибровки овал–ребровый овал на последних шести чистовых проходах прокатки при производстве катанки диаметром 5,5 мм.

Поставленная цель реализуется путем решения следующих задач:

1. Изучение геометрических размеров катанки диаметром 5,5 мм, получаемой при производстве на стане 150 с применением базовой калибровки (овал–круг).
2. Разработка адекватной численной модели прокатки катанки диаметром 5,5 мм на мелкосортно-проволочном стане 150 по базовой калибровке (овал–круг) последних шести проходов прокатки.
3. Исследование с помощью адекватной численной модели процесса прокатки катанки диаметром 5,5 мм на мелкосортно-проволочном стане 150 по проектной калибровке (овал–ребровый овал) последних шести проходов прокатки.
4. Сравнительный анализ полученных результатов.

Для изучения геометрических размеров катанки диаметром 5,5 мм, произведенной на стане 150 с использованием базовой калибровки (овал–круг), были отобраны образцы марки стали 80К. Отбор осуществлялся с начала и конца бунта. По данным энергосиловых и скоростных параметров реального процесса прокатки, была построена математическая модель прокатки катанки диаметром 5,5 мм с использованием базовой калибровки (овал–круг) (рис. 1) [2].

Усредненные результаты фактических геометрических размеров профиля, измеренные в лабораторных условиях, а также при моделировании приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Геометрические размеры катанки диаметром 5,5 мм

Номинальный диаметр, мм	Система калибровки	Минимальный диаметр, мм	Максимальный диаметр, мм	Максимальная овальность, мм
5,5	Овал–круг (базовый процесс)	5.396	5.690	0.294
	Овал–круг (результаты моделирования)	5.399	5.686	0.287

Из таблицы видно, что адекватность математической модели составила 97,6%. Таким образом, можно сделать вывод, что результаты моделирования соответствуют реальному процессу прокатки катанки диаметром 5,5 мм на стане 150.

Используя адекватную численную модель процесса прокатки, была построена математическая модель прокатки катанки по системе калибровки овал – ребровый овал. Используя полученную модель, был осуществлен многократный процесс моделирования прокатки катанки диаметром 5,5 мм в системе калибровки овал – ребровый овал. Полученный в результате моделирования конечный профиль катанки диаметром 5,5 мм был исследован по показателю точности геометрических размеров с учетом допуска (5,5±0,2) мм (рис. 2).

Результаты исследования точности геометрических размеров катанки диаметром 5,5 мм, полученной в при моделировании в системе калибровки овал–ребровый овал, приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2. Геометрические размеры катанки диаметром 5,5 мм

Номинальный диаметр, мм	Система калибровки	Минимальный диаметр, мм	Максимальный диаметр, мм	Максимальная овальность, мм
5,5	Овал – круг (базовый процесс)	5.396	5.690	0.294
	Овал – круг (результаты моделирования)	5.399	5.686	0.287
	Овал – ребровый овал	5.440	5.634	0.194

Из таблицы видно, что точность геометрических размеров катанки, полученной в результате моделирования процесса прокатки в системе калибров овал–ребровый овал, значительно выше геометрических показателей катанки, получаемой при процессе прокатки в системе калибровки овал–круг.

Выводы

Анализ математического моделирования показывает, что применение калибровки овал – ребровый овал на последних проходах прокатки благодаря благоприятной в деформационном отношении форме ребрового овального калибра позволит получать готовый профиль проката с наименьшими отклонениями геометрических размеров в пределах размерного допуска.

Литература

1. Кузьменко А. Г. Мелкосортные станы: состояние, проблемы, перспективы. М.: Metallurgija, 1996. 368 с.
2. Зуев И. А. Разработка способа повышения качества проката и износостойкости инструмента в условиях стана 150 ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» / И. А. Зуев // Литье и металлургия. 2016. № 4. С. 56–61.

References

1. Kuz'menko A. G. *Melkosortnye stany: sostojanie, problemy, perspektivy* [Fine-mills: state, problems, prospects]. Moscow, Metallurgija Publ., 1996, 368 p.
2. Zuyeu I. A. *Razrabotka sposoba povyshenija kachestva prokata i iznosostojkosti instrumenta v uslovijah stana 150 ОАО «БМЗ – upravljajushhaja kompanija holdinga «БМК»* [Development of a method of improvement of qanlity of mill products and wear resistange of the tool at the rolling mill 150 JSC «BSW – Managing Company of Holding «BMC»]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2016, no. 4, pp. 56–61.



УДК 656:331

Поступила 01.08.2017

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПОРТАТИВНОГО ОПТИКО-ЭМИССИОННОГО СПЕКТРОМЕТРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ГОРЯЧЕКАТАНОГО ПРОКАТА С ЦЕЛЬЮ ВЫПОЛНЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ПОТРЕБИТЕЛЯ

EXPERIENCE OF APPLICATION OF A PORTABLE OPTICO – EMISSION SPECTROMETER FOR MONITORING OF CHEMICAL COMPOSITION OF HOT-ROLLED PRODUCTS TO IMPLEMENT THE CUSTOMER'S REQUIREMENTS

Е. А. КАЗАКОВА, Т. С. БИРИСЕН, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: ao.czl@bmz.gomel.by, ts.birisen@bmz.iron

E. A. KAZAKOVA, T. S. BIRISEN, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin city, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: ao.czl@bmz.gomel.by, ts.birisen@bmz.iron

В настоящее время одним из требований потребителей продукции для автомобилестроения является гарантия отсутствия перемешивания различных марок стали в процессе производства проката. Для обеспечения выполнения данного требования необходимо проводить контроль химического состава каждого прутка проката непосредственно перед отгрузкой, после упаковки его в пакеты и нанесения требуемой маркировки. Оптимальным решением данной проблемы является применение портативного оптико-эмиссионного спектрометра, позволяющего проводить испытания образцов непосредственно на месте их нахождения.

One of requirements of customers in the automotive industry is the guarantee of lack of intermix of various brands of steel in a mill process of manufacture. For ensuring implementation of this requirement, it is necessary to carry out monitoring of chemical composition of each bar just before shipment, after its packing and application of the required marking. An optimal solution of this problem is application of the portable optico-emission spectrometer allowing to carry out tests of samples directly in place of location.

Ключевые слова. Портативный оптико-эмиссионный спектрометр, 100%-ная идентификация, контроль, горячекатаные прутки, химический состав.

Keywords. Portable optico-emission spectrometer, 100% identification, control, hot-rolled bars, chemical composition.

С 2012 г. на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» началась разработка и освоение технологии производства горячекатаного круглого проката для автомобилестроения на стане 850, а с 2015 г. – на стане 370/150.

В настоящее время ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» является одобренным поставщиком проката для кузнечных производств и механообрабатывающих предприятий в Западной Европе (таких, как Mahindra Forsing Europe AG, Hammerwerk Fridingen GmbH, JOHANN HAY GmbH & Co KG, Amtek Tekfor Holding GmbH, Schondelmaier GmbH и др.), которые в дальнейшем осуществляют поставки готовых изделий для сборочных производств ведущих автопроизводителей (концерны DAIMLER, GENERAL MOTORS, VOLKSWAGEN и др.).

Одно из специфических требований потребителей данного вида продукции – гарантия отсутствия смешивания различных марок стали в процессе производства проката. Для обеспечения требования необходимо проводить контроль химического состава каждого прутка проката непосредственно перед отгрузкой, после упаковки в пакеты и нанесения требуемой маркировки.

Для решения задачи 100%-ного контроля химического состава горячекатаных прутков были приобретены два портативных оптико-эмиссионных спектрометра ESAPORT производства фирмы «G.N.R.s.r.l.»



Рис. 1. Портативный оптико-эмиссионный спектрометр



Рис. 2. Продукция производства ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», прошедшая 100%-ную идентификацию

(Итальянская Республика). Портативный оптико-эмиссионный спектрометр (рис. 1) является переносным прибором, предназначенным для определения химического состава металлов. Оборудование имеет небольшую массу (около 18 кг) и компактные размеры. В комплектацию спектрометра входит компьютер промышленного применения, который встроен в прибор. Экран компьютера сенсорный, операционная система Windows 98 и выше, программное обеспечение Met32.

К спектрометру с помощью специального кабеля (длина 1,5 м) присоединен пистолет. Для удобства в работе спектрометр и баллон с аргоном устанавливаются на специальную тележку, оснащенную колесами, что позволяет достаточно легко перемещать прибор по территории цеха и проводить испытания образцов непосредственно на месте их нахождения. Отметим, что конструкционная особенность пистолета дает возможность осуществлять контроль прутков от диаметра 40 мм.

Анализ проводится путем размещения головки пистолета на поверхности образца строго перпендикулярно, затем нажимается кнопка ПУСК, расположенная на рукоятке пистолета, и удерживается в течение всего периода анализа пробы. После завершения анализа результаты отображаются на экране монитора. Для продуктивной работы в цеху очень важно, чтобы пистолет был достаточно легкий и имел удобную форму.

Прибор оснащен двумя источниками возбуждения эмиссионных атомных спектров: искровой и дуговой разряды. Дуговой разряд используют без продувки аргоном. В режиме дугового разряда можно проводить сортировку металлов и идентификацию сплавов. Для точного определения химического состава сталей и других сплавов необходимо использовать режим искрового разряда в потоке аргона. Качество аргона очень важно. На ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» для спектрального анализа используется сжатый аргон высокой чистоты собственного производства (объемная доля аргона не менее 99,999%).

Портативный оптико-эмиссионный спектрометр ESAPORT имеет две оптические воздушные камеры с симметричной установкой Черни-Тернера, фокусное расстояние достигает 75 мм, разрешение 0,05 нм. Такие оптические системы позволяют определять химические элементы в диапазоне длин волн от 190 до 410 нм, поэтому с помощью данного спектрометра можно определять массовую долю кремния, марганца, хрома, никеля, меди, алюминия, молибдена, титана, ванадия, кобальта, вольфрама в сталях. В режиме искрового разряда с применением аргона можно также определять массовую долю углерода. Содержание фосфора и серы, к сожалению, не может быть проанализировано с помощью данного прибора, так как аналитические линии фосфора и серы находятся в УФ спектре (длина волны менее 190 нм).

Возможности портативного оптико-эмиссионного спектрометра позволяют определять химический состав стали с неопределенностью измерений (см. таблицу).

Перед отправкой потребителю прутки готовой продукции, прошедшие все необходимые технологические операции, выравниваются по переднему торцу и упаковываются в пакеты. Металл, предназначенный по требованию заказа для проведения 100%-ной идентификации (рис. 2), складывается в специально отведенной для этой цели ячейке на складе готовой продукции. С помощью ручной шлифовальной машинки, на которой установлен абразивно-шлифовальный круг, зачищают торцевую поверхность прутков на глубину не менее 1 мм. Далее каждый пруток подвергается спектральному анализу, определяется соответствие заявленной марке стали и выдается протокол результатов контроля.

Таблица

Наименование элемента	Диапазон измерения, %	Расширенная неопределенность, % ($k = 1,96$ при $p = 95\%$)
Углерод	0,10–0,20	0,003
	0,20–0,50	0,011
	0,50–1,00	0,011
Кремний	0,20–0,50	0,007
	0,50–1,00	0,012
	1,00–2,00	0,015
Марганец	0,20–0,50	0,007
	0,50–1,00	0,009
	1,00–2,00	0,012
Хром	0,10–0,50	0,011
	0,50–1,00	0,022
	1,00–2,00	0,026
Никель	0,10–0,50	0,007
	1,00–2,00	0,015
Медь	0,10–0,20	0,004
	0,20–0,50	0,005
Молибден	0,05–0,10	0,002
	0,10–0,50	0,012
Титан	0,01–0,05	0,002
	0,05–0,10	0,004
Ванадий	0,05–0,10	0,002
	0,10–0,50	0,005
Алюминий	0,01–0,05	0,002
	0,05–0,10	0,003

Таким образом, на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» было успешно освоено проведение 100%-ной идентификации горячекатаных прутков для автомобилестроения, что позволяет гарантировать поставку потребителям проката заявленной марки стали.



УДК 669.18

Поступила 02.08.2017

**ОРГАНИЗАЦИЯ МЕЖЛАБОРАТОРНЫХ СЛИЧИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ
В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗАВОДСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ (ЦЗЛ)****ОАО «БМЗ – УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БМК»****THE ORGANIZATION OF INTERLABORATORY COLLATING TESTS
IN THE CENTRAL FACTORY LABORATORY OF THE OJSC «BSW –
MANAGEMENT COMPANY OF HOLDING «BMC»**

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

G. N. VORONINA, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin City, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: mp.czl@bmz.gomel.by

Испытательная лаборатория обязана планировать и реализовывать мероприятия, гарантирующие качество проводимых испытаний. Основными направлениями данной работы являются:

- участие в программах проверки квалификации (межлабораторные сличительные испытания (МЛС));
- применение стандартных образцов;
- повторные испытания, шифрованные пробы, проверка другим методом испытаний;
- статистические методы контроля.

Но, вместе с тем, необходимо использовать и анализировать все источники, позволяющие оценить качество проводимых испытаний. Такими источниками могут быть отзывы потребителей продукции; испытания, проводимые в независимой лаборатории при проведении процедуры сертификации продукции; МЛС, организованные как потребителем, так и испытательной лабораторией.

The testing laboratory is obliged to plan and realize the actions guaranteeing quality of the carried-out tests. The main directions of this work are:

- participation in programs of check of qualification (interlaboratory collating tests (ICT));
- application of standard samples;
- retests, encoded tests, check by other test method;
- statistical control methods.

But at the same time it is necessary to use and analyze all sources allowing to estimate quality of the carried-out tests. Such sources could be responses of consumers of production; tests, the procedures of certification of production which are carried out in independent laboratory when carrying out; the ICT organized by both the consumer, and testing laboratory.

Ключевые слова. *Аккредитация, испытательная лаборатория, обеспечение качества, результаты испытаний.*

Keywords. *Accreditation, testing laboratory, ensuring quality, test data.*

Одним из важнейших направлений гарантии качества проводимых испытаний является участие в программах проверки квалификации. Центральная заводская лаборатория (ЦЗЛ) Белорусского металлургического завода ведет данную работу по следующим направлениям:

- участие в программах проверки квалификации официального провайдера;
- сличительные испытания, инициируемые потребителем продукции;
- сличительные испытания, инициируемые органами по сертификации продукции.

Участие в программах проверки квалификации официального провайдера

В работе в этом направлении специалисты ЦЗЛ используют информационный ресурс для поиска программ проверки квалификации www.eptis.bam.de. Проверка квалификации проводится в соответствии с требованиями ГОСТ ISO/IES 17043-2013 «Оценка соответствия. Основные требования к проведению проверки квалификации».



Welcome to EPTIS

Home
PT database
PT calendar
PT providers
Submit
About EPTIS
About PT
Contact
Disclaimer

Welcome to EPTIS. We help you find a suitable proficiency testing (PT) scheme for your laboratory. Use our PT scheme [database](#), the PT round [calendar](#) or the PT provider [directory](#) as a start and [let us know](#) if you do not find what you are looking for.

Find a PT scheme in the EPTIS database

Search here among 2700 PT schemes from 270 providers in 38 countries.

Example: environm* +lead +cadmium

Рис. 1. Пример поисковой системы на информационном портале Eptis.bam.de

Info EN Met 2014 V2.docx

Information sheet
Proficiency tests metal 2014

Registration Proficiency Tests Metal 2014
via Fax to: +49 (0) 2365 / 209 00 35 or via E-Mail to: Sorge@ifep.eu
We will participate in the following proficiency test(s):

Info EN Met 2014 V2.docx

No.	please mark	Proficiency test	Expected Start (calendar week 2014)	Return of the results	Participation fee
1401	☐	Hardness Testing Rockwell C	08	1 week	330 € *
1402	☐	Testing of fasteners	30	4 weeks	320 € *
1403a	☐	Emission spectrometry: low alloyed steel	10	4 weeks	1 alloy: total 310 € *
1403b	☐	Emission spectrometry: high alloyed steel	10	4 weeks	2 alloys: total 650 € *
1404	☐	Emission spectrometry: Aluminium alloy	10	4 weeks	275 € *
1405	☐	Resistance against intergranular attack	12	4 weeks	310 € *
1406	☐	Indirect verification of salt spray test chamber	12	4 weeks	275 € *
1407	☐	Tensile test aluminium	16	4 weeks	330 € *
1408a	☐	UT, ultrasonic testing	30	1 week	1 method: total 380 € *
1408b	☐	PT, penetrant testing	30	1 week	2 methods: total 620 € *
1409	☐	Tensile test steel: round bars	40	4 weeks	480 € *
1410	☐	Tensile test steel: flat tensile specimens	22	4 weeks	330 € *
1411a	☐	Charpy impact test low level			1 level: total 310 € *
1411b	☐	Charpy impact test average level	25	4 weeks	2 levels: total 490 € *
1411c	☐	Charpy impact test high level			3 levels: total 620 € *
1412	☐	Cycle loads LCF	48	4 weeks	780 € *
1413	☐	Metallography: image analysis	30	4 weeks	245 € *
1414	☐	Metallography: sample preparation	30	4 weeks	275 € *
1415	☐	Coordinate metrology: tactile and optical	25	1 week	650 € *
1416	☐	Surface lamper inspection	35	4 weeks	330 € *

* Prices for Germany incl. VAT, other countries: Delivery and duty costs will be added to participation fee, see www.ifep.eu.
The costs have to be paid to Institut für Eignungsprüfung IFEP in advance. Specimens will be sent to the participants upon payment by the participant. The organizer will charge 25 % of the fee if the registration is cancelled four weeks prior to the start of the proficiency test.
For cancellations later than this, the full amount will be charged.

Company: _____
 Department: _____
 Contact person: ☐ Ms. ☐ Mr. _____
 Address: _____
 ZIP Code / City: _____ Country: _____
 Telephone: _____ Fax: _____ E-Mail: _____
 Necessary additional information: Your companies' tax identification number: _____
 Billing address (if differing): _____ Delivery address (if differing): _____
 Further invoice-details, e.g. cost unit: _____
 I confirm with my signature that the service is carried out for my/our company (and not for a private person).
 Institut für Eignungsprüfung IFEP GmbH • Daimlerstraße 5 • D-45770 Mett • Dr.-Ing. Christian Wellenreiter • Prof. Dr.-Ing. Inger Frenz
 Tel.: +49 (0) 2365 / 209 00 00 • E-Mail: ifep@mett.de • <http://www.ifep.de>
 Page 3 of 3

Рис. 2. Пример заявки провайдера IFEP (Institut für Eignungsprüfung GmbH)

Процедура выбора необходимого провайдера достаточно проста. При помощи поисковой системы выбирается необходимое направление проверки: материал, метод; страна, официальный провайдер, сайт провайдера, где представлена вся необходимая информация со сроками проведения проверки, стоимости, порядка доставки образцов. Пример поисковой системы показан на рис. 1.

В качестве примера приведена заявка провайдера IFEP (Institut für Eignungsprüfung GmbH) (рис. 2).

Образцы участнику МЛС направляются почтовой посылкой или способом, указанным заказчиком. Вместе с образцами доставляется инструкция по порядку проведения испытаний и отправке результатов испытаний. В настоящее время результаты могут быть переданы только через программное обеспечение IFEP.

После обработки результатов всех участников в электронном виде на согласование высылается отчет, в случае необходимости можно внести свои замечания. Окончательный отчет участник получает в виде брошюры. Кроме того, каждому участнику высылается сертификат об участии в программе проверки квалификации. На рис. 3 представлен пример сертификата участника.



Рис. 3. Сертификат участника программы проверки квалификации

Результаты сличительных испытаний по определению механических свойств продукции согласно требованиям стандарта ISO 15630-1, ISO 6892.
(Отчёт VTT Expert Services Ltd № VTT-S-06386-13 от 23.09.2013)

Показатель	Плавка	Марка стали	Профиль	№ образца	ОАО «БМЗ - УХК «БМК» ЦЗЛ ЛФМИ	Лаборатория «VIT Expert Services Ltd»	Требования ТНПА
Верхний предел напряжения текучести R_{el} МПа	241309	A500HW/ B500B	16	1	596	592	Мин.500
				2	568	587	
				3	591	592	
				4	557	577	
				5	590	592	
				6	612	577	
				7	585	587	
				8	596	582	
				9	600	597	
				10	583	597	
				Ср.зн	587,8	588,0	
				Разн. ср.зн	587,8-588,0 = 0,2		
Приемочный критерий по п.7.2.4.3 СТБ ИСО 5725-6-2002					40,95		Удовлетворяет требованиям
Предел прочности на растяжение, R_m МПа	241309	A500HW/ B500B	16	1	732	726	Мин.550
				2	720	716	
				3	739	721	
				4	711	716	
				5	735	726	
				6	742	721	
				7	726	716	
				8	733	721	
				9	730	736	
				10	720	731	
				Ср.зн	728,8	723,0	
				Разн. ср.зн	728,8-723,0 = 5,8		
Приемочный критерий по п.7.2.4.3 СТБ ИСО 5725-6-2002					55,63		Удовлетворяет требованиям
Общее удлинение при максимальном усилии Agt , %	241309	A500HW/ B500B	16	1	8,1	7,9	Мин.5,0
				2	8,4	9,8	
				3	8,5	7,6	
				4	8,7	9,8	
				5	8,9	11,2	
				6	8,5	8,8	
				7	8,6	7,7	
				8	8,1	8,5	
				9	8,3	9,7	
				10	8,7	9,4	
				Ср.зн	8,5	9,0	
				Разн. ср.зн	8,5-9,0 = 0,5		
Приемочный критерий по п.7.2.4.3 СТБ ИСО 5725-6-2002					1,67		Удовлетворяет требованиям
Соотношение R_m / R_{el}	241309	A500HW/ B500B	16	1	1,23	1,23	Мин.1,08
				2	1,27	1,22	
				3	1,25	1,22	
				4	1,28	1,24	
				5	1,25	1,23	

Рис. 4. Пример оценки результатов испытаний на основе СТБ ИСО 5725, ч. 6

Сличительные испытания, инициируемые потребителем продукции

Потребители продукции ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» периодически инициируют проверки квалификации лаборатории-поставщиков. Неоднократно инициатором программы проверки являлась компания «Michlin».

Процедура проверки проходит в следующем порядке:

- направляется сообщение, предупреждающее о сроках проверки;
- доставка образцов и сопроводительной документации проводится по согласованию с лабораторией;
- в строго оговоренные сроки проводятся испытания и результаты испытаний в электронном виде направляются компании «Michlin»;
- компания «Michlin» после обработки результатов направляет отчет участникам в электронном виде.

Оценка результатов испытаний проводится по процедурам, принятым в компаниях-потребителях продукции, отчет включает в себя необходимые диаграммы, приведены формулы для результатов испытаний.

Сличительные испытания, инициируемые органами по сертификации продукции

Большой перечень продукции нашего предприятия проходит процедуру сертификации. Как правило, в ходе сертификационного аудита отбираются образцы, одна часть которых испытывается в лаборатории в ходе аудита, вторая – направляется в независимую лабораторию. Результаты испытаний в лабораторию поступают в составе отчета органа по сертификации. Для оценки данных результатов специалисты ЦЗЛ применяют СТБ ИСО 5725, ч. 1–6. Наибольшую сложность представляет оценка физико-механических испытаний, так как в стандартах на методы испытаний не приведены нормативы точности. В связи с этим специалисты ЦЗЛ рассчитывают приемочные критерии и результаты оценки приводят в таблице (рис. 4).

В случае сравнения результатов испытаний фотоэлектрическим спектральным методом анализа, как правило, применяются показатели точности по ГОСТ 18895.

Выводы

1. Для гарантии контроля точности результатов испытаний лаборатория должна участвовать в программах проверки квалификации. Информационный портал www.eptis.bam.de предоставляет возможность выбрать необходимые виды сличительных испытаний.
2. Для оценки качества результатов испытаний можно использовать различные направления деятельности, в которых участвует лаборатория, получение информации от потребителя продукции, обработку результатов, полученных от независимой лаборатории в ходе сертификационных аудитов.



УДК 621.74

Поступила 10.04.2017

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ АГРЕГАТЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

ENERGY SAVING HEATING UNITS OF NEW GENERATION

В. В. КОРОБЕЙНИКОВ, С. С. ТКАЧЕНКО, Ассоциация литейщиков Санкт-Петербурга и Ленинградской области, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: tachtech@tachtech.ru

V. V. KOROBAYNIKOV, S. S. TKACHENKO, Foundry Association of St. Petersburg and Leningrad Region, Sankt-Petersburg, Russia. E-mail: tachtech@tachtech.ru

Современное термическое оборудование может и должно быть энергосберегающим, эффективным, безопасным, экологически чистым.

Компания «ТАХТЕХ-РУС» (г. Санкт-Петербург) является современным научно-производственным предприятием, разрабатывающим и выпускающим энергосберегающие термические агрегаты широкого спектра применения.

Modern thermal equipment could and should be energy saving, efficient, safe and environmentally friendly one.

The company «TAKHTEH-RUS» LLC (Saint Petersburg) is a modern scientific and production enterprise which develops and produces energy-saving thermal units for wide range of applications.

Ключевые слова. Энергосбережение, эффективность, экология, безопасность, термическое и нагревательное оборудование.

Keywords. Energy saving, efficiency, ecology, safety, thermal and heating equipment.

В современных международных экономических отношениях проблемы импортозамещения и экономии энергоносителей приобретают особо серьезное значение для всего народного хозяйства. Это особенно важно для России, которая по уровню производительности труда отстает от США и Евросоюза в 4 раза, при этом имеет в 3 раза выше ресурсоемкость продукции и технологий в основных отраслях промышленности и в среднем в 2,5 раза большую энергоемкость [1].

Общим для любых промышленных предприятий потенциалом в сокращении расходов являются, главным образом, затраты на тепловую и электрическую энергию, а также на другие расходуемые ресурсы в зависимости от технологии производства (воды, топлива, материалов).

Оптимизация процессов позволяет сократить потребление энергии и ресурсов, уменьшить расходы на обслуживание, высвободить дополнительные площади, а также повысить надежность и качество работы инженерных и технологических систем.

Затраты энергии при нагреве металла в пламенных печах складываются из затрат топлива, расходуемого на отопление печи, и затрат электроэнергии для обеспечения работы механического оборудования печей. Расчет затрат электроэнергии является задачей механических и энергетических служб. Удельные затраты энергии на отопление печи могут быть рассчитаны по формуле:

$$y_{\text{зт}} = \frac{BQ_{\text{рн}}T}{G},$$

где B – расход топлива в единицу времени; T – время нагрева металла в печи периодического действия; $Q_{\text{рн}}$ – низшая рабочая теплота сгорания топлива; G – масса садки в печи периодического действия или количество металла, нагреваемого в проходной печи за время T .

Расход топлива на отопление нагревательной печи рассчитывается по известной методике путем составления теплового баланса печи. Анализ статей теплового баланса дает возможность оценить влияние различных факторов на величину удельной энергоемкости процесса нагрева металла.

Важнейшие факторы, влияющие на расход топлива при нагреве металла, – характеристики садки печи и режим ее нагрева. Характеристиками садки являются характерный размер нагреваемых заготовок, теплофизические свойства металла, масса садки и ее начальная температура. От характерного размера заготовки и его теплофизических свойств зависит режим нагрева, что прямым (главным) образом влияет на качество термообработки (или ведение процесса), энергосбережение и рентабельность работы оборудования [2].

Это в полной мере касается предприятий литейно-металлургического комплекса, где большая доля затрат приходится на термические агрегаты, служащие для термической обработки слитков и отливок, нагрева слитков, разогрева ковшей, сушки форм, стержней и других задач [3].

Ожидаемое повышение цен на топливо вынуждает предприятия внедрять мероприятия, обеспечивающие большую эффективность нагревательных устройств и более высокий КПД всего агрегата. На КПД энергетического оборудования, кроме всего прочего, большое влияние оказывают технологические температуры. В связи с этим задача повышения КПД всегда связана с материаловедческой проблемой. При модернизации нагревательных печей кузнечных цехов необходимо, в первую очередь, учитывать экономические и экологические аспекты. Успех в этих вопросах достигается за счет применения в печах кузнечно-термических производств традиционных конструктивных элементов: высокопроизводительных радиационных воздушных рекуператоров, автоматизированных систем зонного регулирования, высокоэффективных горелок и огнеупоров нового поколения с теплопроводностью на порядок ниже шамотных.

С точки зрения применения огнеупорных материалов наиболее важным их свойством является теплопроводность. Что же такое теплопроводность?

Теплопроводность представляет собой способность материала проводить тепло. Проводимость осуществляется посредством передачи тепловой кинетической энергии между элементарными частицами как внутри самого материала, так и при соприкосновении с другими телами (предметами).

Определение теплопроводности материалов осуществляется через коэффициент теплопроводности, который представляет собой меру способности пропускать тепловой поток. Чем ниже значение этого показателя, тем выше изоляционные свойства материала. При этом теплопроводность зависит от плотности материала. Численно величина теплопроводности равна количеству тепловой энергии, которая проходит через участок материала толщиной 1 м, площадью 1 кв. м за 1 с. При этом разность температур на противоположных поверхностях принимается равной 1 К. Формула теплопроводности выглядит следующим образом:

$$Q = \lambda(dT/dX)SdT \text{ закон Фурье,}$$

где Q – теплопроводность; λ – коэффициент теплопроводности; dT/dX – градиент температуры; S – площадь поперечного сечения образца.

Количество теплоты, проходящей через огнеупорные материалы («стену»), зависит от коэффициента теплопроводности материала (λ), чем он больше, тем больше теплоты проходит через материал и тем хуже его теплоизоляционные свойства.

Плотный материал имеет больший коэффициент теплопроводности по сравнению с пористым. Увеличение плотности способствует повышению коэффициента теплопроводности (λ), уменьшение плотности приводит к обратному показателю. Чем больше пор в материале, тем меньше его плотность и теплопроводность.

Современное термическое оборудование может и должно быть энергосберегающим, эффективным, безопасным, экологически чистым и соответствовать следующим требованиям:

- низкие удельные теплоемкость и теплопроводность огнеупорных и теплоизолирующих материалов, применяемых при строительстве (реконструкции);
- эффективные системы нагрева (охлаждения);
- высокая степень автоматизации режимов работы, исключая ошибки персонала и гарантирующая предотвращение аварий при возникновении нештатных ситуаций;
- применение систем предварительного нагрева и рекуперации;
- высокие экологические показатели;
- использование систем очистки и дожигания отходящих газов;
- конструктивная технологичность, позволяющая минимизировать взаимодействие внутренней и внешней атмосферы на всех режимах;



Рис. 1. Стенд для сушки и разогрева ковшей

Большую долю в деятельности компании занимают производство, реконструкция и восстановление термических печей различного назначения, установок нагрева штампов непосредственно в прессах, стенов сушки и нагрева ковшей, сушильных печей, горелок для нагрева кромок перед сваркой и других агрегатов для металлургического, кузнечного и литейного производств.

Современный стенд для сушки и разогрева ковшей с системой герметизации и дожигания отходящих газов показан на рис. 1.

В основной перечень продукции и услуг входят:

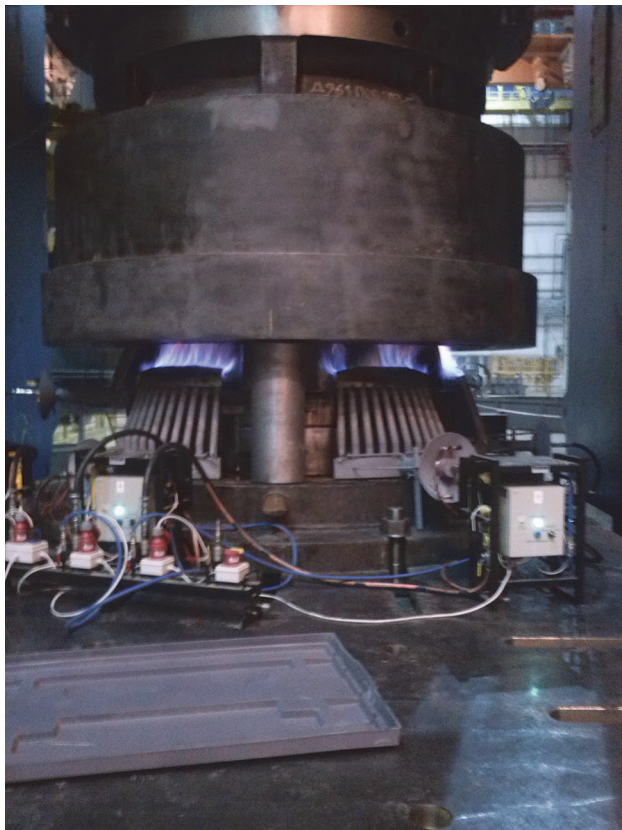


Рис. 3. Установка нагрева штампов



Рис. 2. Печь с выкатным подом для разогрева слитков

- большие межремонтные интервалы в процессе эксплуатации и ремонтпригодность.

Компания «ТАХТЕХ-РУС» (г. Санкт-Петербург) является современным научно-производственным предприятием, разрабатывающим и выпускающим энергосберегающие термические агрегаты широкого спектра применения.

- печи с выкатным подом (рис. 2), камерные, проходные, колпаковые, карусельные, круговые, передвижные и другие печи объемом от 0,5 м³ и температурой до 1800 °С с рекуперацией воздуха до 700 °С или с регенерацией воздуха до 1100 °С, с автоматическим управлением, подключенным к центральной системе управления, в том числе печи с защитной атмосферой;

- нагревательные стенды для ковшей (см. рис. 1);
- установки нагрева штампов непосредственно в прессе (рис. 3) и нагрева кромок перед сваркой;
- нагревательные системы, газовые горелки, рекуператоры, регенераторы, нагреватели воды и воздуха;
- сушила различного назначения;
- огнеупорные и теплоизолирующие материалы;
- шеф-монтаж, гарантийное и сервисное обслуживание термического оборудования;
- реконструкция, ремонт и восстановление термических агрегатов, их перевод на другие виды энергоносителей.

Имея собственный научно-технический потенциал, компания ТАХТЕХ-РУС разрабатывает и производит высококачественные керамоволокнистые огнеупорные и теплоизоляционные материалы, которые используются при строительстве и реконструкции термических агрегатов.



Рис. 4. Маты из керамоволокнистого полотна



Рис. 5. Керамоволокнистые модули

К таким материалам относятся керамоволокнистые сборные футеровки в виде плит, матов (рис. 4) или модульных блоков (рис. 5) с температурой применения до 1400 °С. Легковесные футеровки достаточно просто монтируются, обладают низкой плотностью, малой инерционностью и теплопроводностью. Они абсолютно устойчивы к тепловому удару при резких колебаниях температуры.

Теплоизоляционные материалы выпускаются на температуры 350, 750, 900 °С в виде плит и матов толщиной до 100 мм, имеющих плотность от 60 до 230 кг/м³. Керамоволокнистые маты толщиной от 13 до 50 мм с плотностью от 70 до 200 кг/м³, а также плиты плотностью до 300 кг/м³ поставляются на температуры 1260, 1425 и 1600 °С.

Для температур 1260 и 1425 °С производятся специальные керамоволокнистые модули – блоки с плотностью от 160 до 240 кг/м³. Стандартные размеры модулей – 300×300 и 300×600 мм, толщина – от 150 до 350 мм. По желанию заказчика могут выпускаться модули не стандартных размеров, в том числе угловые, трапециевидные и др. Также изготавливаются сформованные изделия на керамоволокнистой основе

самой различной конфигурации и размеров.

Все виды футеровок и тепловой изоляции оснащены специальными креплениями.

Материалы имеют необходимое сертификационное обеспечение. Гарантийный срок службы не менее 5 лет при работе в области высоких температур (1300 °С) и не менее 10 лет при работе с температурой до 1200 °С. Стоимость сборных керамоволокнистых футеровок не выше эквивалентной по площади традиционной кирпичной кладки. Их высокая эффективность определяется значительной долговечностью и большой экономией энергоносителей.

Еще одно важное направление научно-технической деятельности ТAxTEХ-РУС – разработка комплексных систем нагрева для любых энергоносителей с использованием газовых и топливных горелок собственного производства.

Применение в термических агрегатах огнеупорных и теплоизоляционных материалов нового поколения, современных систем нагрева, рекуперации, регенерации в комплексе с системами контроля и автоматизации позволяет снизить энергоемкость оборудования более чем на 50%. Окупаемость таких агрегатов составляет 6–12 мес в зависимости от их размера.

Высокие энергоэкономичные показатели печей нового поколения обеспечены за счет внедрения следующих технических решений:

- использования эффективной импульсной системы нагрева и охлаждения металла на базе современных скоростных газовых горелок, оборудованных электророзжигом и контролем факела и встроенных в фурмы подачи охлаждающего воздуха;
- футеровки печи современными керамоволокнистыми малоинерционными огнеупорными и теплоизоляционными материалами;
- отвода продуктов сгорания из печи, осуществляемого через верхнюю часть каркаса футерованным надземным дымопроводом в дымовую трубу, это позволяет обеспечить надежное регулирование давления в рабочем пространстве печи;
- утилизации тепла уходящих продуктов сгорания путем подогрева воздуха, идущего на горение, в рекуператоре, устанавливаемом в дымопроводе;
- обеспечения герметизации рабочего пространства печи за счет специальной конструкции заслонки и водоохлаждаемой рамы загрузочного окна;
- применения импульсного сжигания топлива и аэродинамического регулирования разрежения, обеспечивающего стабилизацию давления в рабочем пространстве печи и интенсивную циркуляцию газов при всех тепловых нагрузках;
- специальной конструкции выкатного пода малой высоты для улучшения эксплуатационных условий; с целью обеспечения надежного уплотнения в створе между подом и неподвижной частью печи применены специальные затворы;

- футеровки пода печи с применением плотных легковесных огнеупорных жаропрочных бетонов, обеспечивающих существенное снижение теплоемкости пода и повышение надежности его работы;
- системы тепловой автоматики, обеспечивающей автоматическое ведение режимов нагрева и охлаждения по заданной программе, стабилизацию теплового режима печи по энергосберегающим алгоритмам, управление автоматическим розжигом и контроль наличия факела горелок, предоставление информации о работе печи в естественной для оператора форме, возможность включения системы управления печью в цеховую информационную сеть.

Системы контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации управления тепловым режимом учитывают требования газовой безопасности и высокие требования по уровню автоматизации. На печах производится контроль, управление и регулирование более двух десятков параметров. Данное обстоятельство дает возможность автоматического выполнения тепловых режимов с точностью до $\pm 5^\circ\text{C}$, а при необходимости $\pm 2,5^\circ\text{C}$ в предельно широком интервале температур 100–1100 $^\circ\text{C}$.

Внедрение новых технических решений позволило обеспечить экономичную работу печей со значительным снижением вредных выбросов в атмосферу, что заметно улучшает экологическую ситуацию промышленного региона.

Тепловое ограждение печей предусматривает отказ от традиционной кирпичной кладки. В этих печах применена сборная многослойная составная футеровка керамоволокнистыми материалами различной плотности. Футеровка из современных волокнистых огнеупоров для термических печей открывает ряд преимуществ:

- быстрый разогрев и охлаждение печи вследствие малой теплоинерционности, что позволяет увеличить производительность и универсальность печного оборудования;
- устойчивость футеровки к резким колебаниям температуры;
- сокращение потерь тепла на аккумуляцию в кладке.

Отличительная особенность компании TAXTEX-РУС заключается в том, что у нее практически нет номенклатуры стандартного оборудования. При работе с заказчиком специалисты фирмы не стремятся привязать техническое предложение к стандартному решению или проекту. Во всех случаях разрабатывается наиболее выгодное и оптимальное решение для заказчика.

Компания TAXTEX-РУС сотрудничает и входит в состав объединения чешских производителей огнеупоров и может осуществлять комплексную поставку огнеупорных материалов, торкрет-масс, набивных масс, жароупорных бетонов, фасонных изделий, в том числе огнеупорного кирпича на основе магнетита.

В интересах заказчика компания TAXTEX-РУС может разработать и поставить широкий спектр огнеупорных материалов и оборудования различных тепловых агрегатов совместного производства с Чешской Республикой. Кроме того, компания располагает обширной базой данных о деятельности передовых фирм Центральной и Западной Европы и может оказывать различные услуги в области разработки и поставки различных футеровочных материалов и оборудования.

Литература

1. Сидоренков С. И. Сокращение расходов как разумная альтернатива сокращению штатов // Индустрия, 2009. № 1.
2. Иванцова Н., Хатрутдинов Р. Ресурсосбережение и экологическая политика в металлургическом комплексе // Вопросы экономики. 1990. № 11.
3. Цуканов В. В., Милуц В. Г., Нигматулин О. Э. Совершенствование режимов предварительной термической обработки заготовок из высокопрочных низколегированных судостроительных сталей // Сб. тез. выступлений участников конф. «Проблемы разливки и кристаллизации стали, сварки, термообработки и математическое моделирование технологических процессов». М.: ОАО НПО «ЦНИИТМАШ», 2012.

References

1. Sidorenkov S. I. Sokrashhenie rashodov kak razumnaja al'ternativa sokrashheniju shtatov [Cutting costs as a reasonable alternative to staff reduction]. *Industrija = Industry*, 2009, no. 1.
2. Ivantsova N., Hatrutdinov R. Resursosberezhenie i jekologicheskaja politika v metallurgicheskom komplekse [Resource conservation and environmental policy in the metallurgical complex]. *Voprosy jekonomiki = Issues of economics*, 1990, no. 11.
3. Tsukanov V. V., Milyuts V. G., Nigmatulin O. E. Sovershenstvovanie rezhimov predvaritel'noj termicheskoj obrabotki zagotovok iz vysokoprechnyh nizkolegированных sudostroitel'nyh stalej [Perfection of the modes of preliminary heat treatment of blanks from high-strength low-alloy shipbuilding steels]. *Sbornik tezisov vystuplenij uchastnikov konferencii «Problemy razlivki i kristallizacii stali, svarki, termoobrabotki i matematicheskoe modelirovanie tehnologicheskix processov»*, Moskva, ОАО НПО «ЦНИИТМАШ», 2012 g. [Proceedings of the conference «Problems of casting and crystallization of steel, welding, heat treatment and mathematical modeling of technological processes»]. Moscow, 2012.



УДК 621.74:669.13

Поступила 26.06.2017

СТРУКТУРА И ТВЕРДОСТЬ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ИЗНОСОСТОЙКИХ ЧУГУНОВ

STRUCTURE AND HARDNESS OF CASTINGS MADE FROM WEAR-RESISTANT CAST IRON

Е. И. МАРУКОВИЧ, В. М. ИЛЬЮШЕНКО, П. Ю. ДУВАЛОВ, А. И. КАЛЕНТИОНОК, Институт технологии металлов НАН Беларуси, г. Могилев, Беларусь, ул. Бялыницкого-Бирули, 11.

E-mail: lct@tut.by,

К. Э. БАРАНОВСКИЙ, ГП «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», г. Минск, Беларусь, Я. Коласа, 24

E. I. MARUKOVICH, V. M. ILYUSHENKO, P. Yu. DUVALAU, A. I. KALENTSIONAK, Institute of Technology of Metals of National Academy of Sciences of Belarus, Mogilev, Belarus, 11, Bialynitskogo-Biruli str.

E-mail: info@itm.by.

K. E. BARANOUSKI, Scientific and Tehnological Park of the BNTU «Politechnic», Minsk, Belarus, 24, Ja. Kolasa str.

Исследовано влияние способов литья и геометрических параметров деталей из хромистых чугунов на твердость их внутренних слоев. Разработана методика исследований и проведены эксперименты. Определено соответствие деталей из хромистых чугунов техническим требованиям по твердости. Проведен микроструктурный анализ по сечению деталей.

Influence of ways of casting and influence of geometrical parameters of details made from chromic cast irons on hardness of their inner layers are investigated. The technique of researches is developed and experiments are made. Compliance of details from chromic cast irons to performance specification by hardness is determined. The microstructure analysis on the section of details is carried out.

Ключевые слова. Износостойкий хромистый чугун, металлические и комбинированные литейные формы, твердость, аустенит, перлит, карбиды хрома, транскристаллизация.

Keywords. Wear resistant chromium cast iron, metal and composite molds, hardness, austenite, perlite, chrome carbides, transcris-tallization.

Введение

Износостойкость белого чугуна при абразивном воздействии зависит от его механических свойств и свойств отдельных структурных составляющих. Основные структурные составляющие белого чугуна располагаются по возрастанию микротвердости в следующем порядке: эвтектоид (перлит, сорбит, троостит), аустенит, мартенсит, цементит, легированный цементит; карбиды хрома, вольфрама, ванадия и других элементов; бориды.

Известно, что чугуны типа ИЧХ18ВМ имеют наиболее высокую износостойкость, когда структура матрицы мартенсит или мартенсит с некоторым количеством метастабильного остаточного аустенита. Распад метастабильного аустенита зависит от скорости кристаллизации, которая, в свою очередь, определяется способами литья. Наибольшая скорость кристаллизации обеспечивается при литье в металлические формы [1].

Методика исследования и проведения экспериментов

Были проведены исследования по влиянию способов литья и геометрических параметров деталей, отлитых из чугуна ИЧХ18ВМ, на твердость внутренних слоев отливок. В качестве объектов исследования выбраны защитные детали центробежных мельниц – подкладные листы и отбойные плиты. По тех-

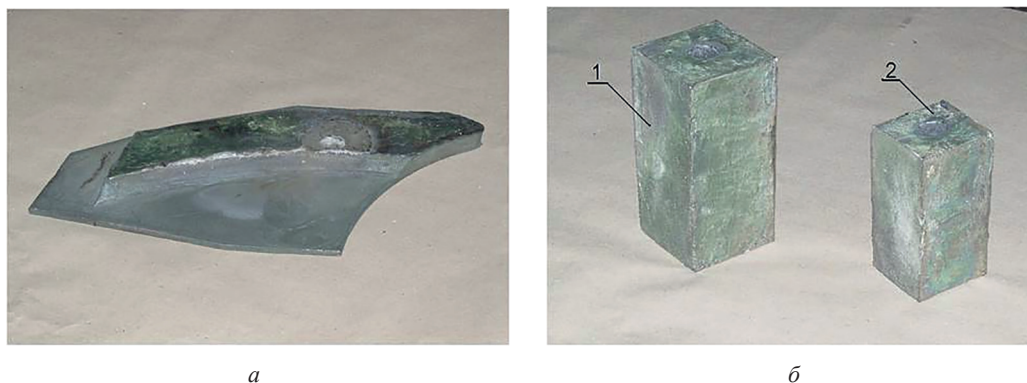


Рис. 1. Подкладной лист УЗ-1,25.01.00.002 (а) и отбойные плиты (б): 1 – плита УПМ-1,25; 2 – плита УПМ-1,0

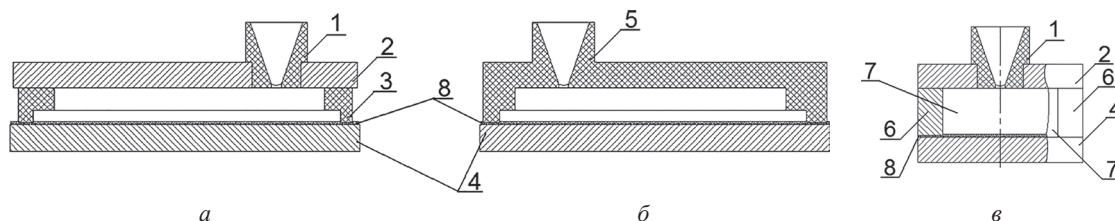


Рис. 2. Металлическая (а), комбинированная (б) формы для литья подкладных листов и кокиль (в) для литья отбойных плит: 1 – литниковая чаша из ХТС; 2, 4, 6, 7 – металлические части форм; 3 – периметр из ХТС; 5 – верхняя часть комбинированной формы из ХТС; 8 – термостойкая ткань

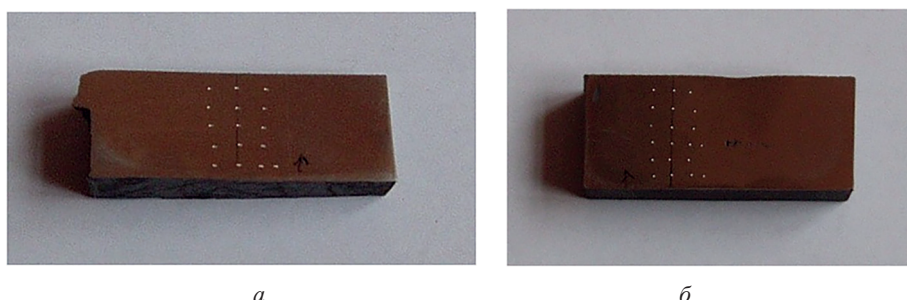


Рис. 3. Образец для измерения твердости, вырезанный из подкладного листа УЗ-1,25, полученного в металлической (а) и комбинированной (б) формах

ническим требованиям эти детали должны иметь твердость 58–61 HRC. Подкладной лист УЗ-1,25.01.00.002 (рис. 1, а) представляет собой плоскую деталь переменного сечения, у которой толщина более чем в 10 раз меньше длины. Толщина рабочей части листа составляет 25 мм, а в остальной части – 10 мм.

Отбойная плита УПМ-1,25.001 – это по форме брус с квадратным основанием 85×85 мм, длиной 180 мм (рис. 1, б, поз. 1), а плита УПМ-1,0.001 – с основанием 70×70 мм, длиной 140 мм (рис. 1, б, поз. 2).

Для проведения исследований твердости по толщине были отлиты два листа. Один лист получен в металлической форме (днище и верх – металлические плиты, боковой периметр – ХТС) (рис. 2, а), а второй – в комбинированной форме (днище – металлическая плита, боковые поверхности и верх – ХТС) (рис. 2, б). Заполнение формы расплавом проводили через верхнюю плиту в районе утолщения листа через специальную литниково-питающую чашу из ХТС. Отбойные плиты отливали в металлических формах (рис. 2, в).

Для измерения твердости по толщине подкладных листов и отбойных плит вырезали образцы из тех частей деталей, наиболее подверженных износу во время работы. Из листов вырезали полоски длиной 90 мм (поперечный размер утолщения на листе), шириной 20 мм и высотой 25 мм (толщина рабочей части листа) (рис. 3). Для облегчения процесса изготовления образцов из отбойных плит последние вырезали из центральной части отработавших свой ресурс деталей (рис. 4). Затем образцы шлифовали для получения параллельности плоскостей измерений. Твердость измеряли на приборе ТК-14-250 по методу Роквелла.

Первое измерение проводили на расстоянии 3 мм от низа образца и далее с шагом 5 мм до верха образца. На каждом шаге делали три измерения по горизонтали на расстоянии не менее 3 мм друг от друга. Результаты измерений твердости по сечению подкладных листов приведены в табл. 1.

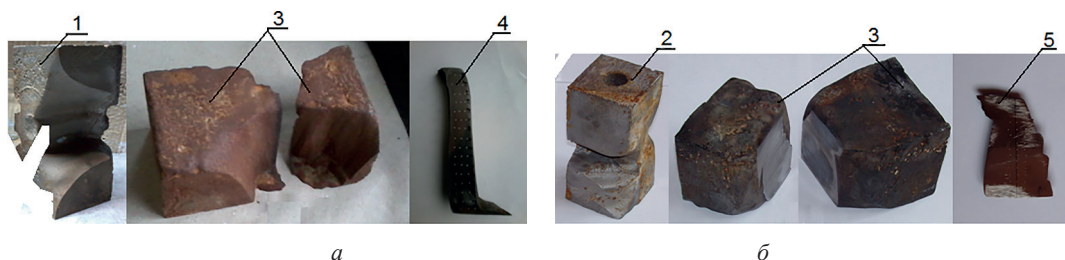


Рис. 4. Стадии изготовления образцов для измерения твердости центральной части отбойной плиты УПМ-1,25.001 (а) и отбойной плиты УПМ-1,0.001 (б): 1 – изношенная плита УПМ-1,25.001; 2 – изношенная плита УПМ-1,0.001; 3 – плиты после вырезки образца; 4 – образец из плиты УПМ-1,25.001; 5 – образец из плиты УПМ-1,0.001

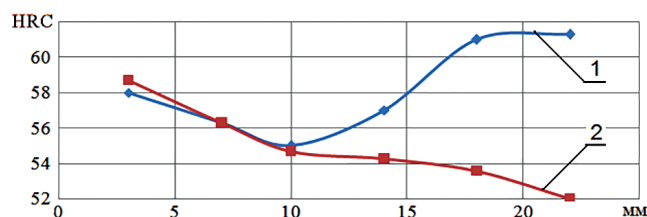


Рис. 5. Характер изменения твердости по толщине подкладного листа УЗ-1,25.01.00.002: 1 – заливка в кокиль; 2 – заливка в комбинированную форму

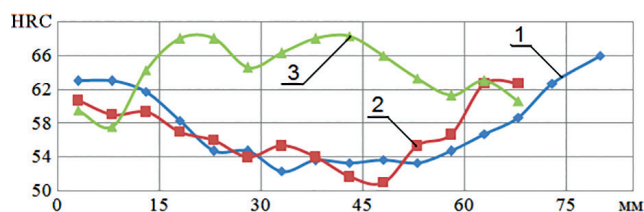


Рис. 6. Характер изменения твердости по толщине отбойных плит: 1 – плита УПМ-1,25.001; 2 – УПМ-1,0.001; 3 – УПМ-1,0.001 после ТО

Таблица 1. Твердость по сечению подкладных листов, отлитых в кокиль и комбинированную форму

	Твердость HRC			
	измерение 1	измерение 2	измерение 3	среднее значение
<i>Твердость по сечению подкладного листа, отлитого в кокиль</i>				
3	58	59	57	58,0
7	56	56	57	56,3
10	54	55	56	55,0
14	57	58	56	57,0
18	60	62	61	61,0
22	63	61	60	61,3
<i>Твердость по сечению подкладного листа, отлитого в комбинированную форму</i>				
3	58	59	59	58,7
7	57	56	56	56,3
10	55	55	54	54,7
14	54	55	54	54,3
18	53	54	54	53,6
22	52	53	51	52,0

Изменение твердости подкладных листов показано на рис. 5.

Твердость слоев на протяжении 10 мм от низа отливки вверх у обоих листов одинакова (рис. 5). Разность твердостей на этом расстоянии составляет около 3 ед. HRC. Далее начинают сказываться разные условия теплообмена между расплавом и материалом верхних частей форм. Это приводит к тому, что при литье в металлическую форму происходит рост твердости к верху отливки, а при литье в комбинированную форму – к ее падению. При этом максимальная разница твердости при литье в металлическую форму составляет около 10% при средней твердости по сечению листа 58 HRC. При литье в комбинированную форму максимальный перепад достигает 11% при средней твердости по сечению 55 HRC. Следует отметить, что листы, отлитые в комбинированную форму, не удовлетворяют техническим требованиям по твердости (58–62 HRC) по всей толщине поперечного сечения (рис. 5, кривая 2). Листы, отлитые в металлическую форму, имеют твердость верхнего слоя толщиной 10 мм 58 HRC и более. Далее по сечению до низа отливки твердость составляет 55–58 HRC.

Результаты измерения твердости по сечению отбойных плит представлены в табл. 2.

Изменение твердости по сечению отбойных плит показано на рис. 6.

В отбойной плите УПМ-1,25.001 толщиной 85 мм (рис. 6, кривая 1), которая отлита в металлической форме (днище защищено от пригара термостойкой тканью, боковые стенки и крышка покрашены антипригарной краской), наибольшую твердость, приблизительно одинаковую 58–63 HRC, имеют присте-

ночные слои толщиной около 18 мм. Остальной объем, примерно половина объема плиты, имеет среднюю твердость порядка 54 HRC.

Таблица 2. Твердость по сечению отбойных плит УПМ-1,25.001, УПМ-1,0.001 и УПМ-1,0.001 после закалки

	Твердость HRC			
	измерение 1	измерение 2	измерение 3	среднее значение
<i>Твердость по сечению плиты УПМ-1,25.001</i>				
3	60	64	65	63,0
8	61	63	65	63,0
13	60	61	64	61,7
18	58	58	59	58,3
23	55	55	54	54,7
28	55	54	55	54,7
33	52	55	53	53,3
38	53	54	54	53,6
43	52	53	55	53,3
48	53	55	53	53,7
53	53	53	54	53,3
58	53	55	56	54,7
63	53	57	57	56,7
68	58	59	59	58,7
73	62	63	63	62,7
80	65	66	67	66
<i>Твердость по сечению плиты УПМ-1,0.001</i>				
3	61	61	60	60,7
8	58	59	60	59,0
13	60	59	59	59,3
18	56	59	56	57,0
23	58	54	56	56,0
28	54	55	53	54,0
33	55	55	56	55,3
38	54	54	54	54,0
43	51	50	54	51,7
48	50	52	51	51,0
53	54	56	56	55,3
58	54	58	58	56,7
63	62	63	63	62,7
68	61	63	64	62,7
<i>Твердость по сечению плиты УПМ-1,0.001 после закалки</i>				
3	59	58	61	59,3
8	58	58	57	57,6
13	64	64	65	64,3
18	68	68	68	68,0
23	68	69	67	68,0
28	65	64	65	64,6
33	66	67	66	66,3
38	69	67	68	68,0
43	68	70	67	68,3
48	65	67	66	66,0
53	64	63	63	63,3
58	61	63	60	61,3
63	62	64	63	63,0
68	61	60	61	60,6

Подобное распределение твердости наблюдается и у плиты УПМ-1,0.001 толщиной 70 мм (рис. 6, кривая 2). После термической обработки плиты УПМ-1,0.001 (закалка от температуры 980 °С на воздухе и отпуск при 200 °С) твердость ее увеличилась в среднем до 65 HRC практически по всему сечению.

Микроструктурный анализ по сечению деталей

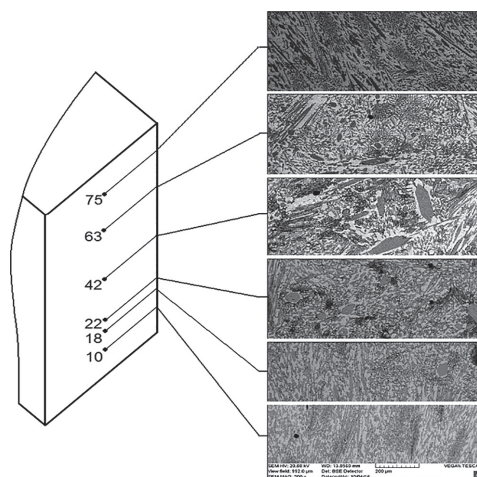


Рис. 7. Микроструктура в поперечном сечении отбойной плиты УПМ-1,25.001

Исследование структуры проводили с использованием сканирующего электронного микроскопа Vega II LMU. На рис. 7 представлена микроструктура поперечного сечения плиты УПМ-1,25.001 на разном расстоянии от ее низа.

Структура на расстоянии 10 мм от низа плиты имеет очень мелкие и вытянутые карбиды, толщина более крупных карбидов – 10–15 мкм, а более мелких – 4–6 мкм. Наблюдается сильно выраженная транскристаллитная структура, ориентированная к центру отливки. На расстоянии 18 мм размеры карбидов увеличились в 1,2 раза и более крупные стали толщиной 12–18 мкм, а более мелкие – 6–7 мкм. На этом расстоянии прекратилась транскристаллизация. На расстоянии 22 мм – структура равноосная, равнонаправленная, размер карбидов увеличился: крупные стали менее длинными толщиной до 35–40 мкм, а мелкие – 7–15 мкм. В середине отливки на расстоянии 42 мм размеры карбидов еще более увеличились: крупные из них стали до 50 мкм, а основная масса 15–25 мкм и они стали еще более округлыми и равноосными. На расстоянии 63 мм структура подобна структуре на расстоянии 22 мм, а на расстоянии 75 мм – подобна структуре на расстоянии 10 мм от низа отливки.

При рассмотрении структурного строения поперечного сечения отбойной плиты с помощью цифрового металлографического микроскопа Альтами МЕТ1М с увеличением 200 видно, что ближе к центру образца появляются травящиеся участки перлита (рис. 8). Небольшое количество его появляется на расстоянии 22 мм от низа и верха образца (рис. 8, б, г). В центре образца количество перлита увеличивается почти до 50% от видимой площади металлической матрицы (рис. 8, в).

Таким образом, полученные результаты металлографических исследований показывают, что в средней части отливок из чугуна ИЧХ18ВМ толщиной более 50 мм кристаллизуются в 2,0–2,5 раза более крупные карбиды и появляются продукты распада метастабильного аустенита. Эти факторы и приводят к снижению твердости центральных областей деталей. Твердость деталей типа отбойных плит можно значительно повысить и сделать более равномерной по всему объему введением в технологический про-

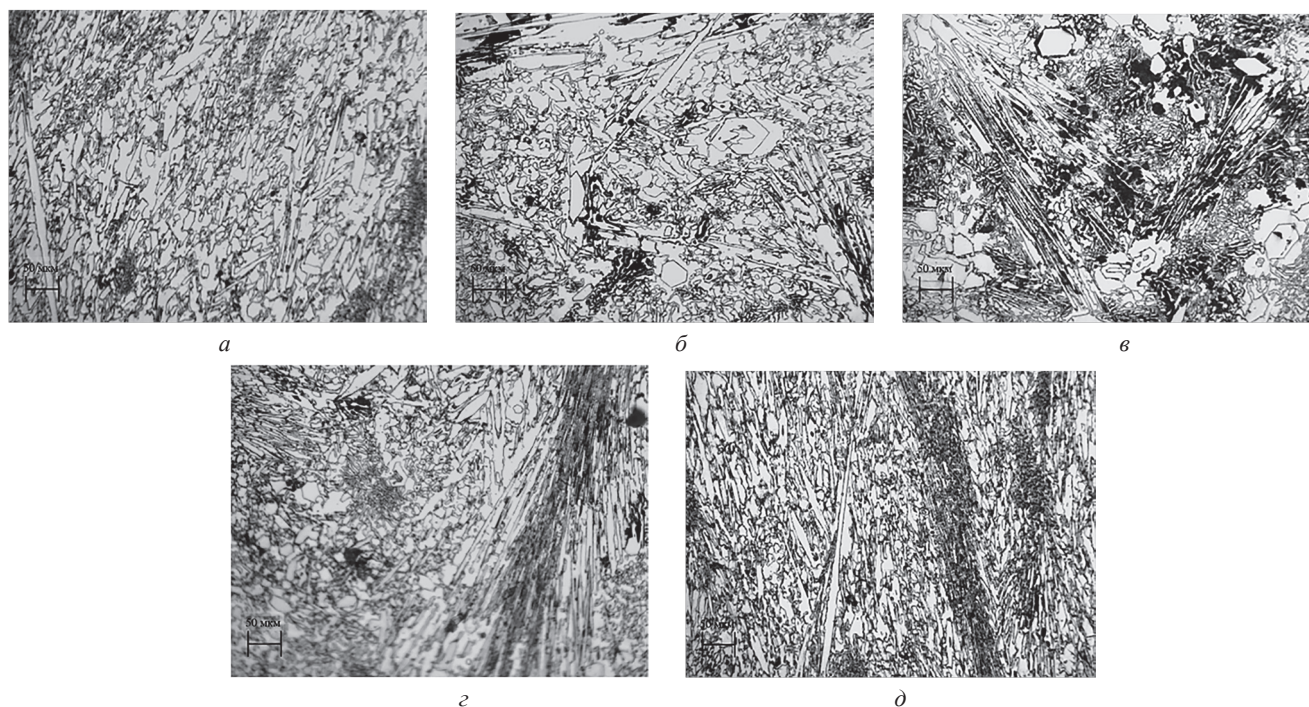


Рис. 8. Структурное строение по толщине центральной части плиты УПМ-1,25.001: а – на расстоянии 12 мм от верха плиты; б – на расстоянии 22 мм от верха плиты; в – в середине поперечного сечения плиты; г – на расстоянии 22 мм от низа плиты; д – на расстоянии 12 мм от низа плиты

цесс дополнительной операции – термической обработки. Поскольку проведение термической обработки требует дополнительных материальных затрат, необходимо проведение натурных испытаний в производственных условиях с целью получения объективных данных для расчета экономической целесообразности ее применения.

Литература

1. Цыпин И. И. Белые износостойкие чугуны / И. И. Цыпин. М.: Металлургия, 1983. 176 с.

References

1. Tsypin I. I. *Belye iznosostykie chuguny* [White wear-resistant cast irons]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1983. 176 p.



УДК 669.154

Поступила 14.06.2017

НАНОСТРУКТУРНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПЛАВКИ И ЛИТЬЯ ЧУГУНА С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ

NANOSTRUCTURAL PROCESSES OF MELTING AND MOULDING OF CAST IRON WITH GLOBULAR GRAPHITE

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

Показано, что плавление и литье чугуна с шаровидным графитом являются сложными физико-химическими наноструктурными процессами. В них главную роль играют центры кристаллизации дендритов графита, нанокристаллы графита, растворенный и адсорбированный кислород. Роль модифицирующей лигатуры FeSiMg сводится в основном к существенному снижению концентрации адсорбированного кислорода и обогащению расплава центрами кристаллизации дендритов графита.

It is shown that melting and molding of cast iron with globular graphite are complex physical and chemical nanostructural processes. The major role in these processes is played by the centers of crystallization of dendrites of graphite, graphite nanocrystals, the dissolved and adsorbed oxygen. The role of the modifying ligature of FeSiMg is reduced generally to essential decrease of concentration of the adsorbed oxygen and an enrichment of fusion by the centers of crystallization of graphite dendrites.

Ключевые слова. Чугун с шаровидным графитом, плавка, литье, модифицирование, нанокристаллы, центры кристаллизации, дендриты аустенита, дендриты графита, адсорбированный кислород.

Keywords. Cast iron with globular graphite, melting, molding, modifying, nanocrystals, the centers of crystallization, austenite dendrites, graphite dendrites, the adsorbed oxygen.

Чугун с шаровидным графитом (ЧШГ) обладает высокими механическими свойствами. Основным недостатком ЧШГ является его высокая склонность к отбелу в литом состоянии. Этому способствует главный графитосфероидизирующий элемент магний. Для устранения отбела в отливках ЧШГ расплав чугуна при температуре 1400–1450 °С обрабатывают модифицирующей лигатурой ФСМг, которая имеет следующий химический состав: кремний – 44–48%; магний – 5–15; кальций – 1,0–2,5%; остальное – железо [1]. Лигатура ФСМг состоит из кристаллов кремния и интерметаллидов [2]. Последние при расплавлении и растворении в расплаве чугуна распадаются на кремний, магний и кальций, которые вступают в реакцию с растворенными кислородом и серой. Особую активность проявляет магний. Считается, что это поверхностно-активный элемент, который, адсорбируясь на зародышах графита, заставляет их расти сферическими кристаллами. Предложены различные механизмы роста сфероидов. Однако установлено, что магний не понижает, а повышает удельную межфазную поверхностную энергию на границе «графит–расплав» [3]. Поэтому атомы магния не могут проявлять адсорбционных способностей по отношению к зародышам графита. Также установлено, что так называемый шаровидный графит является не сплошным кристаллом, а сильно разветвленным шаровидным дендритом с секторально-слоистым строением [4,5]. Кроме того, с точки зрения общепринятой (классической) теории модифицирования не ясно, какое неметаллическое включение являлось центром кристаллизации (ЦК) графита. Установлено, что кристаллические решетки оксидов и сульфидов Mg, Ca, Si и графита не удовлетворяют принципу структурно-размерного соответствия Данкова-Конобеевского [6]. Поэтому с точки зрения общепринятой (классической) теории модифицирования не ясен механизм воздействия модифицирующей лигатуры ФСМг на микроструктуру чугуна.

Теория модифицирования сплавов должна исходить из теории жидкого состояния. В настоящее время она слабо разработана и достаточно противоречива. Современные представления о металлической жидкости основаны на том, что расплав – однофазная жидкость, состоящая из атомов. Кроме того, они по непонятному (случайному) механизму периодически и с очень высокой частотой образуют достаточно сложные упорядоченные области – кластеры. Их строение очень близко к структурам кристаллических фаз сплава. Считают, что время жизни кластеров составляет 10^{-10} – 10^{-11} с [7]. Такие крайне нестабильные структурные образования не могут иметь межфазной границы раздела «кластер–расплав» и быть ЦК фаз. Поэтому классические представления о модифицировании не могут объяснить механизм воздействия лигатуры ФСМг на процессы кристаллизации чугуна с шаровидным графитом.

Чтобы понять процессы, происходящие при затвердевании сплавов, необходимо знать, что происходило до их кристаллизации. Для этого автор предлагает считать расплав, состоящим в основном из термодинамически стабильных (равновесных) нанокристаллов фаз и бесструктурных атомизированных зон. В пользу таких представлений (теории) о структуре расплавов предоставляются следующие аргументы.

1. Между жидким и твердым кристаллическими состояниями должна быть наследственная структурная связь. Это означает, что в расплаве должны стабильно существовать как минимум, элементарные кристаллические ячейки фаз.

2. Из результатов по центрифугированию жидких бинарных сплавов следует, что в расплаве существуют упорядоченные зоны (нанокристаллы) фаз с радиусом 2–5 нм [8].

3. Процессы адсорбции, связанные с газонасыщением расплава, его дегазацией и действием поверхностно-активных элементов, требуют стабильных межфазных границ раздела.

4. Для обеспечения принципа структурно-размерного соответствия Данкова-Конобеевского необходимо, чтобы при кристаллизации существовали ЦК, состоящие из нанокристаллов фаз.

5. Правило фаз с учетом лапласовского давления доказывает, что расплав металла должен состоять из двух равновесных фаз: нанокристаллов и разупорядоченных зон [9].

6. Термодинамика и кинетика формирования дендритов фаз при высоких скоростях затвердевания сплавов требует, чтобы основными строительными структурными элементами процесса кристаллизации были не атомы, а нанокристаллы фаз.

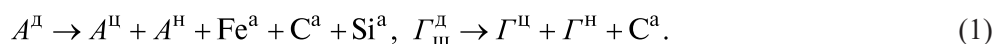
7. Прямые дифракционные исследования и эксперименты по малоугловому рассеянию рентгеновских лучей и нейтронов доказывают, что в расплавах довольно долго (стабильно) существуют кристаллические наноструктурные образования фаз (нанокристаллы) [7].

8. Высокая устойчивость нанокристаллов фаз в расплаве кинетически обеспечивается за счет относительно низких значений удельной межфазной поверхностной энергии. Ее значение для нанокристаллов Fe дисперсностью 3,6 нм составляет $0,64 \text{ мДж} \cdot \text{м}^{-2}$ [9].

9. Установлено, что при плавлении металлов может атомизироваться в среднем только 3% ионов [9]. В результате уменьшается количество свободных электронов, что ослабляет металлическую связь. Это приводит к тому, что микрокристаллы распадаются на нанокристаллы и образуются бесструктурные атомизированные зоны. Они обеспечивают расплаву высокие реологические свойства.

10. При плавлении металлов их коэффициенты диффузии (самодиффузии) скачкообразно увеличиваются в 1000–10 000 раз [8]. Соответственно во столько же раз возрастают потоки веществ. Это свидетельствует о том, что в расплавах происходит кооперативный, нанокристаллический перенос веществ, а основными структурными единицами являются не атомы, а нанокристаллы.

Исходя из того, что расплавы в основном состоят из нанокристаллов фаз и бесструктурных атомизированных зон, можно исследовать и понять процессы плавки и литья ЧШГ. Его плавка включает расплавление сплава и перегрев расплава, а литье – процессы модифицирования и кристаллизации фаз. Рентгенодифракционным методом было установлено, что расплав чугуна состоит из двух областей. Первая – со строением аустенита, а вторая – со структурой цементита [10]. При плавлении ЧШГ происходит распад дендритов аустенита (A^D) на их центры кристаллизации (A^U), нанокристаллы (A^H), атомы железа (Fe^a), углерода (C^a) и кремния (Si^a). Также происходит распад шаровидных графитных дендритов (Γ^D) на их центры кристаллизации (Γ^U), нанокристаллы (Γ^H), атомы углерода (C^a) по следующим реакциям:



В основном (более 90%) это A^H и Γ^H . Кроме того, нанокристаллы аустенита и графита вступают в реакцию и образуют нанокристаллы цементита:



При перегреве расплава чугуна и его взаимодействии с парами воды ($H_2O(g)$) воздушной атмосферы происходит следующая реакция:



Растворенный кислород диффундирует в бесструктурные зоны расплава, а затем адсорбируется в первую очередь на ЦК дендритов аустенита и графита. При достижении определенной концентрации адсорбированного кислорода A^H и Γ^H распадаются по эффекту Ребиндера на m и n более мелких нанокристаллов аустенита и графита по следующим реакциям:



В результате концентрации A^H и Γ^H в расплаве уменьшаются и структура отливок становится крупнокристаллической. При эвтектической кристаллизации чугуна происходит реакция



в том случае, если существует достаточное количество Γ^H , в противном случае получается эвтектика из аустенита и цементита (ледебурита). Повышенная в чугуне (более 2%) концентрация кремния способствует снижению растворенного, а следовательно, адсорбированного кислорода. В результате активизируются процессы коагуляции нанокристаллов аустенита и графита в их ЦК по следующим реакциям:



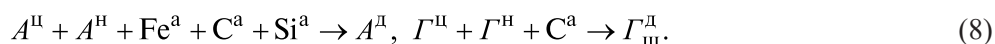
Реакция (6) активизирует реакцию (5). В результате увеличивается количество Γ^H , а следовательно, возрастает концентрация Γ^H , что существенно ускоряет ход реакции (5) и приводит к получению аустенитно-графитной эвтектики. Распаду цементита при эвтектической кристаллизации способствует снижение скорости затвердевания чугуна.

Известно, что температура кипения магния намного ниже температуры жидкого чугуна. В его расплаве магний не растворяется, поэтому он находится в атомарном газообразном состоянии и имеет максимальную термодинамическую активность. Поэтому магний является самым сильным раскислителем чугуна в отличие от кремния и алюминия, которые находятся в растворе. При взаимодействии атомарного магния (Mg^a) с перегретым чугунным расплавом происходит реакция



которая сопровождается активным барботажем всей ванны расплава, что значительно ускоряет кинетику процесса раскисления и уменьшает концентрацию кислорода в жидком чугуне. Известно, что при относительно малом количестве магний способствует течению реакции (5), т. е. является графитизирующим модификатором [6]. Это объясняется его раскисляющей способностью на уровне кремния. При относительно большом количестве магний вызывает отбел чугуна. Это объясняется тем, что раскисляющая способность магния зависит от его вводимой массы. Если она относительно велика, то концентрация растворенного кислорода существенно снижается. Это приводит к значительному уменьшению концентрации адсорбированного кислорода, что заметно повысит интенсивность коагуляции нанокристаллов аустенита и графита и вызовет укрупнение A^H и Γ^H и снижение их концентраций в расплаве при эвтектической кристаллизации. Для получения отливок из ЧШГ необходимо, чтобы при кристаллизации чугуна была достаточная концентрация ЦК графитных дендритов и обеспечивалась их высокая разветвленность. Последнее условие выполняется при очень низкой концентрации растворенного кислорода, что обеспечивается достаточным количеством магния. Установлено, что для получения шаровидных графитных дендритов, нужно, чтобы концентрация растворенного кислорода в расплаве чугуна составляла не более 0,0016–0,0018%, при остаточном содержании магния 0,04% [11]. Разветвленность графитных дендритов зависит от концентрации адсорбированных, а следовательно, растворенных кислорода и серы. Так, если $[O] = 0,0074\%$, то в структуре преобладает не шаровидный, а пластинчатый графит, т. е. слабо-разветвленный графитный дендрит [11]. Методом локальной оже-спектроскопии установлено, что в прилегающих к шаровидному графиту областях сера отсутствует, а интенсивность обогащения кислородом значительно ниже, чем в аналогичных областях вблизи пластинчатого графита [12]. Высокая концентра-

ция $\Gamma^{\text{ц}}$ в расплаве перед эвтектической кристаллизацией чугуна обеспечивается процессом растворения лигатуры с большим содержанием кремния. При этом происходит локальное повышение концентрации кремния, что создает условия для формирования в расплаве кристаллов первичного графита. При их последующем распаде в условиях пониженного содержания кислорода образуется большое количество ЦК графитных дендритов. Все эти условия для эвтектической кристаллизации шаровидного графита обеспечивает лигатура ФСМг. При этом происходят следующие реакции:



Таким образом, плавка и литье ЧШГ являются сложными физико-химическими наноструктурными процессами, в которых определяющую роль играют центры кристаллизации дендритов графита, его нанокристаллы, растворенный и адсорбированный кислород.

Литература

1. **Справочник** по чугунному литью / Под ред. Н. Г. Гиршовича. Л.: Машиностроение, 1978.
2. **Диаграммы** состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа: Справ. М.: Металлургия, 1986.
3. **Неижко И. Г.** Графитизация и свойства чугуна. Киев: Наукова думка, 1989.
4. **Захарченко Э. В., Левченко Ю. Н., Горенко В. Г., Вареник П. А.** Отливки из чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом. Киев: Наукова думка, 1986.
5. **Степенко В. Ю.** Дендритная кристаллизация чугуна // *Литье и металлургия*. 2015. № 1. С. 58–61.
6. **Марукович Е. И., Степенко В. Ю.** Модифицирование сплавов. Минск: Беларуская навука, 2009.
7. **Бродова И. Г., Попель П. С., Барбин Н. М., Ватолин Н. А.** Исходные расплавы как основа формирования структуры и свойств алюминиевых сплавов. Екатеринбург: УрО РАН, 2005.
8. **Ершов Г. С., Черняков В. А.** Строение и свойства жидких и твердых металлов. М.: Металлургия, 1978.
9. **Степенко В. Ю.** Кластеры в жидких металлах – стабильные нанокристаллы // *Литье и металлургия*. 2015. № 2. С. 33–35.
10. **Залкин В. М.** О состоянии углерода в жидком чугуне // *Литейное производство*. 2002. № 3. С. 2–5.
11. **Сиротинский П. С.** Роль остаточного содержания элементов-сфероидизаторов графита при длительной изотермической выдержке жидкого модифицированного чугуна // *Литейное производство*. 1973. № 11. С. 27–31.
12. **Суменкова В. В., Ткачук И. В.** Микрораспределение модификаторов и примесей в чугуне // *Литейное производство*. 1994. № 2. С. 8–9.

References

1. *Spravochnik po chugunnomu lityu* [Reference book on an iron casting]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1978.
2. *Diagrammy sostoyaniya dvojnyh i mnogokomponentnyh sistem na osnove zheleza. Spravochnik* [Charts of a condition of double and multicomponent systems on the basis of iron. Reference book]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1986.
3. **Neizhko I. G.** *Gravitizatsiya i svoystva chuguna* [Graphitization and properties of cast iron]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1989.
4. **Zaharchenko E. V., Levchenko Y. N., Gorenko V. G., Varenik P. A.** *Otlivki iz chuguna s sharovidnym i vermikulyarnym grafitom* [Castings from cast iron with spherical and vermikulyarny graphite]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1986.
5. **Stetsenko V. Yu.** Dendritnaya kristallizatsiya chuguna [Dendritic crystallization of cast iron]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2015, no. 1, pp. 58–61.
6. **Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu.** *Modifitsirovanie splavov* [Modifying of alloys]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2009.
7. **Brodova I. G., Popel P. S., Barbin N. M., Vatin N. A.** *Iskhodnye rasplavy kak osnova formirovaniya struktury i svoystv alyuminievyh splavov* [Initial fusions as basis of formation of structure and properties of aluminum alloys]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 2005.
8. **Ershov G. S., Chernyakov V. A.** *Stroenie i svoystva zhidkih i tverdyh metallov* [Structure and properties of liquid and solid metals]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1978.
9. **Stetsenko V. Yu.** Klasteriy v zhidkih metallah – stabilnye nanokristally [Clusters in liquid metals – stable nanocrystals]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2015, no. 2, pp. 33–35.
10. **Zalkin V. M.** O sostoyanii ugleroda v zhidkom chugune [About a condition of carbon in liquid cast iron]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry*, 2002, no. 3, pp. 2–5.
11. **Sirotskiy P. S.** Rol ostatochного soderzhaniya ehlementov-sferoidizatorov grafita pri dlitelnoy izotermicheskoy vyderzhke zhidkogo modifitsirovannogo chuguna [Role of the residual maintenance of elements-sferoidizatorov of graphite at long isothermal endurance of the liquid modified cast iron]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry*, 1973, no. 11, pp. 27–31.
12. **Sumenkova V. V., Tkachuk I. V.** Mikroraspredelenie modifikatorov i primesej v chugune [Microdistribution of modifiers and impurity in cast iron]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry*, 1994, no. 2, pp. 8–9.



УДК 621.74.08

Поступила 29.06.2017

КОНТРОЛЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЛАТУНИ ЛИТЕЙНОЙ В ЧУШКАХ, ИСПОЛЪЗУЕМОЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ

CONTROL OF CHEMICAL COMPOSITION OF CASTING BRASS IN INGOTS USED FOR MANUFACTURE OF STOP VALVES

А. А. ПИВОВАРЧИК, Е. В. ПИВОВАРЧИК, Гродненский государственный университет
им. Янки Купалы, г. Гродно, Беларусь, ул. Ожешко, 22. E-mail: piwchik21@tut.by

A. A. PIVOVARCHYK, E. V. PIVOVARCHYK, State University of Grodno named after Yanka Kupala,
Grodno City, Belarus, 22, Ozheshko str. E-mail: piwchik21@tut.by

В статье представлены результаты исследования химического состава латуни литейной марки ЛС, поставляемой отечественными и зарубежными поставщиками, а также химического состава латуни свинцовой марки ЛЦ40С, используемой для изготовления запорной арматуры, с использованием оптико-эмиссионных спектрометров различных моделей и растрового микроскопа. Установлено, что чушка, поставляемая отечественным поставщиком, по своему химическому составу соответствует химическому составу чушки литейной марки ЛС, в то время как в чушке, поставляемой зарубежными поставщиками, отмечается нарушение химического состава по некоторым основным элементам. Результаты проведенных исследований показали, что чушка, поставляемая всеми поставщиками, а также расплав, полученный при ее использовании, содержат в своем составе такие вредные примеси, как S, Bi и P в количестве 0,001%, 0,0017 и 0,0045% соответственно, что может привести к снижению технологических свойств изделий. Установлено, что использование эмиссионных спектрометров ARL 3460 и OBLF-QSW 750, а также растрового электронного микроскопа Tescan VEGA II LMU позволяет получать практически идентичные значения содержания основных элементов и примесей в чушках литейных и латуни свинцовой марки ЛЦ40С при проведении исследований по определению химического состава исследуемых материалов.

The article presents the results of a research of the chemical composition of brass foundry grade LS, supplied by domestic and foreign producers, as well as the chemical composition of brass lead grade LC4C used for the manufacture of stop valves. The research was made with use of optical emission spectrometers of various models and a scanning microscope. It was established that the pig delivered by the domestic producers corresponds to parameters of chemical composition for the pig's foundry brand LS, while in the pig supplied by foreign producers there were found disparities of the chemical composition of certain basic elements. The results of the studies showed that the pig supplied by all producers, as well as the melt obtained with its use, contain in its composition such harmful impurities as S, Bi and P in the amount of 0.001%, 0.0017% and 0.0045%, respectively, that can lead to a decrease in the technological properties of products. It has been established that the use of ARL 3460 and OBLF-QSW 750 emission spectrometers and the Tescan VEGA II LMU scanning electron microscope makes it possible to obtain practically identical values of the content of the main elements and impurities in pigs of foundry and brass lead grade LC40C in studies on determining the chemical composition of the materials under study.

Ключевые слова. Латуни литейные, чушка, расплав, проба, химический состав, спектральный анализ, химический анализ, отливка.

Keywords. Casting brass, ingots, melt, test sample, chemical composition, spectral analysis, chemical analysis, casting.

Введение

В ряду наиболее перспективного технологичного производства получения литых заготовок из черных и цветных металлов ведущие позиции занимает литье под давлением (ЛПД). В Республике Беларусь насчитывается несколько десятков цехов и участков ЛПД, занимающихся изготовлением отливок из стали, чугуна, алюминиевых, медных, цинковых и других сплавов. ЛПД позволяет получать преимущественно тонкостенные отливки сложной конфигурации, с высоким качеством поверхности и размерной точностью.

Качество изготавливаемых отливок зависит от следующих технологических параметров литья: химического состава исходных шихтовых материалов и расплава, технологии плавки и рафинирования, скорости прессования, времени выдержки отливки в пресс-форме, способа смазывания технологической оснастки, состава смазки.

В свою очередь определение химического состава исходных материалов является одним из специфических направлений производственной деятельности современных металлургических предприятий, позволяющих обеспечить стабильность технологических процессов и требуемое качество продукции. Стабилизация технологического процесса плавки металла достигается как стандартизацией состава исходных шихтовых материалов, так и прямым контролем и регулированием процесса плавки по составу используемых и выпускаемых продуктов. Точность и надежность контроля должны соответствовать условиям непрерывного производства. Такие требования обеспечивает автоматизация анализа и контроля начиная от состава исходных шихтовых материалов до получения готовой продукции заданного состава и свойств. Для определения состава применяют химические, физико-химические и физические методы анализа. При выборе метода анализа исходят из необходимой точности, чувствительности и скорости определения химического состава [1].

В настоящее время на ряде предприятий Республики Беларусь для определения химического состава шихтовых материалов, выплавляемых сплавов используется морально устаревшее технологическое оборудование, которое не в полной мере отвечает предъявляемым требованиям по качеству выполняемого химического анализа состава сплава. Недостоверное определение химического состава сплава на всех технологических этапах изготовления отливки способствует увеличению числа бракованных отливок ввиду невозможности своевременной корректировки химического состава. Необходимо помнить, что несоответствие химического состава шихтовых материалов, а также выплавляемого сплава не допускается техническими нормативно-правовыми актами (ГОСТ, ОСТ и др.). Кроме того, несоответствие химического состава сплава способствует снижению механических свойств изготавливаемого изделия, что, в свою очередь, также приводит к росту бракованных изделий.

Данная работа посвящена исследованию химического состава исходных шихтовых материалов, и расплава, используемых при изготовлении запорной арматуры из медно-цинковых сплавов методом литья под давлением с применением различного технологического оборудования.

Методика проведения экспериментов. В качестве исходных шихтовых материалов, используемых для изготовления запорной арматуры, выступала латунь литейная, поставляемая отечественными и зарубежными поставщиками в чушках литейных марки ЛС по ГОСТ 1020-97 [2]. Отбор и подготовку образцов для выполнения химического анализа исходных шихтовых материалов осуществляли по ГОСТ 24231-80 [3]. Определение количества основных элементов и примесей в отобранной пробе осуществляли с помощью стилоскопа модели «Спектр СЛ13». При этом определение количества меди в сплаве проводили по стандартной методике титриметрическим йодометрическим методом согласно ГОСТ 1652.1-77 [4].

Дополнительно химический состав исследуемых чушковых шихтовых материалов определяли по стандартным методикам согласно ГОСТ 30609-98 [5] с помощью искровых эмиссионных спектрометров моделей OBLF-QSW 750 (Германия) и ARL3460 (Швейцария), а также растрового электронного микроскопа Tescan VEGA II LMU (Англия).

Также были проведены исследования по контролю химического состава расплава, получаемого в результате переплава исходных чушковых шихтовых материалов с целью изготовления отливок из латуни свинцовой марки ЛЦ40С по ГОСТ 17711-93 [6]. Расплавление чушки проводили в индукционной плавно-раздаточной печи ИПЛ 2К емкостью 0,4 т без обработки расплава покровно-рафинирующим флюсом и модификатором. Температура плавления чушки составляла 950 ± 10 °С. Время до полного расплавления чушки – 45 мин. После расплавления чушки из расплава отбирали пробу жидкого металла посредством заливки в графитовый тигель марки ТГ0,5 по ГОСТ 8708-58 [7]. Затем из отобранных проб изготавливали образцы диаметром 20 мм и высотой 12 мм для проведения химического анализа расплава.

Химический состав исходных шихтовых материалов, а также химический состав выплавляемого сплава марки ЛЦ40С из чушки, поставляемой различными поставщиками, определенный с помощью различного технологического оборудования, приведены в табл. 1, 2.

Результаты исследований и их обсуждение. Из табл. 1 видно, что в чушке, поставляемой отечественным поставщиком, наблюдается несоответствие химического состава по содержанию меди. При этом снижение количества меди в чушке составляет 2,6% от требуемого количества согласно ГОСТ 1020-97.

Таблица 1. Химический состав исходных шихтовых материалов, поставляемых на предприятие различными поставщиками

Используемое оборудование	Номер образца	Массовая доля основных компонентов и примесей в исследуемом образце, %										
		Cu	Al	Fe	Mn	Si	Sn	Pb	Sb	P	Ni	Zn
	0 (химический состав чушки по ГОСТ 1020-97)	56,0–61,0	0,5	0,8	0,5	0,3	0,5	0,8–1,9	0,05	–	1,0	Ост.
Стилоскоп «Спектр СЛ13»	1	59,0	–	0,30	–	–	0,1	1,80	–	–	0,1	38,70
	2	58,5	–	0,30	–	–	0,1	2,0	–	–	0,1	39,80
	3	59,0	–	0,30	–	–	0,1	1,60	–	–	0,1	38,10
Эмиссионный спектрометр ARL 3460	1	59,38	0,01	0,13	0,001	0,06	0,003	0,93	0,009	0,001	0,004	39,44
	2	57,90	0,12	0,40	0,067	0,07	0,481	2,26	0,027	0,002	0,238	38,32
	3	57,54	1,05	0,30	0,114	0,14	0,457	1,76	0,027	0,004	0,312	38,25
Эмиссионный спектрометр OBLF-QSW 750	1	53,40	0,01	0,10	0,001	0,06	0,001	0,87	–	0,001	0,005	45,49
	2	53,10	0,12	0,32	0,061	0,07	0,402	2,08	–	0,001	0,230	43,50
	3	51,50	1,01	0,25	0,114	0,13	0,380	1,37	–	0,003	0,290	44,80
Растровый электронный микроскоп Tescan VEGA II LMU	1	57,90	0,16	0,13	0,001	0,07	0,004	0,93	0,04	–	–	40,76
	2	58,30	0,11	0,38	0,064	0,07	0,421	2,10	0,05	–	–	38,51
	3	52,50	0,62	0,44	0,130	0,16	0,350	1,80	0,05	–	–	43,95

Примечание: 1 – образец отечественного поставщика; 2 и 3 – образцы зарубежных поставщиков.

Таблица 2. Химический состав сплава, полученного из шихтовых материалов, поставляемых на предприятие различными поставщиками

Используемое оборудование	Номер образца	Массовая доля основных компонентов и примесей в исследуемом образце, %										
		Cu	Al	Fe	Mn	Si	Sn	Pb	Sb	P	Ni	Zn
	0 (химический состав сплава по ГОСТ 17711-93)	57,0–61,0	0,5	0,8	0,2	0,3	0,5	0,8–2,0	0,05	–	1,0	Ост.
Стилоскоп «Спектр СЛ13»	1	56,40	–	0,30	–	–	0,1	1,50	–	–	0,1	42,60
	2	58,50	–	0,30	–	–	0,1	1,70	–	–	0,1	39,30
	3	59,00	–	0,30	–	–	0,1	1,60	–	–	0,1	38,90
Эмиссионный спектрометр ARL 3460	1	59,09	0,10	0,22	0,030	0,08	0,20	1,47	0,019	0,002	0,11	38,64
	2	58,75	0,45	0,42	0,063	0,08	0,42	1,98	0,025	0,003	0,20	37,58
	3	58,80	0,73	0,37	0,094	0,14	0,46	1,75	0,028	0,004	0,28	37,31
Эмиссионный спектрометр OBLF-QSW 750	1	53,09	0,10	0,18	0,028	0,08	0,14	1,33	–	0,001	0,10	44,90
	2	53,12	0,43	0,35	0,061	0,08	0,32	1,81	–	0,002	0,19	43,59
	3	53,02	0,69	0,30	0,094	0,12	0,36	1,52	–	0,003	0,27	43,60
Растровый электронный микроскоп Tescan VEGA II LMU	1	57,90	0,12	0,19	0,001	0,08	0,004	0,93	0,04	–	–	38,37
	2	58,30	0,35	0,32	0,05	0,09	0,48	1,60	0,04	–	–	38,77
	3	52,50	0,68	0,41	0,07	0,11	0,39	1,65	0,05	–	–	44,14

Примечание: 1 – образец отечественного поставщика; 2 и 3 – образцы зарубежных поставщиков.

Установлено также, что в чушке, поставляемой зарубежными поставщиками, имеет место уменьшение количества меди. Так, для поставщика 2 количество меди составляет 53,1%, что на 2,9% ниже установленной нормы, в свою очередь для поставщика 3 количество меди составляет 51,5 и 52,5% соответственно, что на 5,5 и 4,5% ниже требуемой концентрации меди в чушке. Необходимо отметить, что данное несоответствие количества меди в поставляемой на предприятие чушке наблюдается при проведении химического анализа сплава с использованием эмиссионного спектрометра OBLF-QSW 750 и растрового электронного микроскопа Tescan VEGA II LMU.

Результаты исследований (табл. 1) показывают, что в чушке, поставляемой поставщиком 3, наблюдается повышенное содержание алюминия 1,05 и 1,01% соответственно, что более чем в 2 раза превышает допустимое содержание алюминия в чушке согласно требованиям ГОСТ 1020-97. Данное превышение содержания алюминия установлено при использовании эмиссионных спектрометров ARL 3460 и OBLF-QSW 750. Менее значительное превышение количества алюминия в чушке от поставщика 3 наблюдается и при исследовании химического состава с использованием растрового электронного микроскопа Tescan VEGA II LMU – 0,62%.

В чушке, поставляемой зарубежным поставщиком 2, наблюдается превышение количества свинца на 0,1–0,36% в зависимости от технологического оборудования, используемого для определения химического состава (табл. 1).

Изучение химического состава сплава, выплавляемого из чушки, поставляемой различными поставщиками, показало, что содержание меди в сплаве не соответствует требованиям ГОСТ 17711-93 при использовании чушки всех трех поставщиков (табл. 2). При этом количество меди в сплаве находится в пределах 52,5–56,4%. Однако следует заметить, что такое существенное несоответствие содержания меди в сплаве не установлено при использовании эмиссионного спектрометра ARL 3460.

Результаты исследований показали, что в сплаве, полученном при использовании чушки, поставляемой поставщиком 3, наблюдается повышенное содержание алюминия 0,68 и 0,73% соответственно, что на 0,18 и 0,23% превышает допустимое содержание алюминия в сплаве согласно ГОСТ 17711-93. Необходимо отметить, что данное превышение содержания алюминия в сплаве установлено при использовании как эмиссионных спектрометров ARL 3460 и OBLF-QSW 750, так и при использовании растрового электронного микроскопа Tescan VEGA II LMU.

Незначительное изменение химического состава чушки и расплава при определении содержания основных элементов и примесей при использовании эмиссионных спектрометров модели ARL 3460 и OBLF-QSW 750, а также растрового электронного микроскопа Tescan VEGA II LMU можно объяснить явлением ликвации в исследуемых образцах.

Кроме того, установлено, что чушка, поставляемая всеми поставщиками, а также расплав, полученный при ее использовании, содержат в своем составе такие вредные примеси, как S, Bi и P в количестве 0,001, 0,0017 и 0,0045% соответственно. Известно [8], что наличие данных примесей в латуни в тысячных долях приводит к снижению технологических и литейных свойств сплава. Так, наличие S способствует ухудшению пластичности при горячей обработке, а также снижает коррозионную стойкость сплава. Содержание в сплаве Bi вызывает краснотекучесть и снижает тепло- и электропроводность сплава. В свою очередь P приводит к снижению пластичности и деформации сплава.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что чушка, поставляемая отечественным поставщиком, по своему химическому составу соответствует химическому составу чушки литейной марки ЛС, в то время как в чушке, поставляемой зарубежными поставщиками, отмечается нарушение химического состава по таким основным элементам, как Cu, Al, Pb. Установлено, что использование эмиссионных спектрометров ARL 3460 и OBLF-QSW 750, а также растрового электронного микроскопа Tescan VEGA II LMU позволяет получать практически идентичные значения содержания основных элементов и примесей в чушках литейных и латуни свинцовой при проведении исследований по определению химического состава исследуемых материалов.

Литература

1. **Немененок Б. М.** Контроль качества продукции металлургического производства: учеб. пособ. / Б. М. Немененок, П. С. Гурченко, И. В. Рафальский. Минск: БНТУ, 2007. 407 с.
2. **ГОСТ 1020-97.** Латуни литейные в чушках. Технические условия. Минск: Госстандарт, 2013. 7 с.
3. **ГОСТ 24231-80.** Цветные металлы и их сплавы. Общие требования к отбору и подготовке проб для химического анализа. М.: Межгосударственный стандарт, 2002. С. 8–12.
4. **ГОСТ 1652.1-77.** Сплавы медно-цинковые. Методы определения меди. М.: Изд-во стандартов, 1997. С. 1–11.
5. **ГОСТ 30609-98.** Латуни литейные. Метод рентгенофлуоресцентного анализа. Минск: Изд-во стандартов, 2001. 5 с.
6. **ГОСТ 17711-93.** Сплавы медно-цинковые (латуни) литейные. Марки. М.: Межгосударственный стандарт, 2005. С. 18–23.
7. **ГОСТ 8708-58.** Изделия огнеупорные графитсодержащие. Технические требования. М.: Изд-во стандартов, 1958. 6 с.
8. **Гуляев А. П.** Металловедение / А. П. Гуляев. М.: Металлургия, 1986. 544 с.

References

1. **Nemenenok B. M., Gurchenko P. S., Rafalsky I. V.** *Kontrol' kachestva produkcii metallurgicheskogo proizvodstva: ucheb. posobie* [Quality control of products of metallurgical production: Textbook. Allowance]. Minsk, BNTU Publ., 2007. 407 p.
2. **GOST 1020-97.** *Latuni litejnye v chushkah. Tehnicheskie uslovija* [State Standard 1020–97. Brass foundry in pigs. Specifications]. Minsk, 2013. 7 p.
3. **GOST 24231-80.** *Cvetnye metally i ih splavy. Obshhie trebovanija k otboru i podgotovke prob dlja himicheskogo analiza* [State Standard 24231–80. Non-ferrous metals and their alloys. General requirements for the selection and preparation of samples for chemical analysis]. Moscow, 2002, pp. 8–12.
4. **GOST 1652.1-77.** *Splavy medno-cinkovye. Metody opredelenija medi* [State Standard 1652.1-77. Copper-zinc alloys. Methods for determination of copper]. Moscow, 1997, pp. 1–11.

5. **GOST 30609-98.** *Latuni litejnye. Metod rentgenofluorescentnogo analiza* [State Standard 30609–98. Foundry brass. X-ray fluorescence analysis method]. Minsk, 2001. 5 p.
6. **GOST 17711-93.** *Splavy medno-cinkovye (latuni) litejnye. Marki* [State Standard 17711–93. Copper-zinc alloys (brass) foundry. Brands]. Moscow, 2005, pp. 18–23.
7. **ГОСТ 8708-58.** *Izdelija ognepornye grafitosoderzhashhie. Tehnicheskie trebovanija* [State Standard 8708–58. Products fireproof graphite-containing. Technical requirements]. Moscow, 1958. 6 p.
8. **Guljaev A. P.** *Metallovedenie* [Metallography]. Moscow, Metallurgija Publ., 1986. 544 p.



УДК 621.793.71

Поступила 10.05.2017

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЗОНЫ СПЛАВЛЕНИЯ ПРИ ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКЕ ПОКРЫТИЯ ТИПА EuTroLoy 16006.04

FORMATION OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE ZONE OF ALLOYING UNDER PLASMA-POWDER SURFACING OF COATS TYPE EuTroLoy 16006.04

Ф. И. ПАНТЕЛЕЕНКО, В. В. ЗАХАРЕНКО, М. В. СПЕЦИАН, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: panteleyenkofi@tut.by

F. I. PANTELEENKO, V. V. ZAKHARENKO, M. V. SPETSIAN, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: panteleyenkofi@tut.by

В работе представлены результаты экспериментальных исследований по нанесению покрытий порошком EuTroLoy 16006.04 с помощью плазменно-порошковой наплавки. Анализ макроструктуры позволил установить частичное отсутствие пор, несплавлений и трещин между подложкой и наплавленным слоем. Установлены различия в фазовом составе и в механических свойствах покрытий. В местах нанесения плазменно-порошковой наплавки выявлено повышение твердости.

The paper presents the results of experimental studies on the surface coating of powder EuTroLoy 16006.04 with the help of plasma-powder overlaying. Analysis of the macro-structure made it possible to establish a partial absence of pores, fusions and cracks between the sub-spool and the deposited layer. Differences in the phase composition and in the mechanical properties of the coatings were established. In places of application of plasma-powder overlaying an increase in hardness has been revealed.

Ключевые слова. Изношенная поверхность, присадочные порошки, плазменно-порошковая наплавка, микроструктура, микротвердость.

Keywords. Worn surface, filler powders, plasma-powder surface adding, microstructure, microhardness.

На сегодняшний день в ведущих отраслях промышленности широкое распространение получило использование процесса наплавки различных сплавов на ответственные участки деталей машин. Процесс наплавки используется для увеличения износостойкости, жаропрочности и эксплуатационной стойкости поверхностей деталей, работающих в условиях больших знакопеременных нагрузок, высоких температур и давлений, в абразивных и агрессивных средах, а также в целях замены дефицитных и дорогостоящих металлов. Возрастающие требования к эксплуатационным характеристикам наплавленного металла, а также к качеству наплавленных деталей машин и технологиям обусловили переход к новым материалам и способам наплавки, в частности, плазменно-порошковой [1–3]. Одним из малоизученных направлений в технологии наплавки является нанесение покрытий из кобальтовых сплавов и изучение их свойств. Многие свойства этих сплавов являются результатом аллотропного превращения кобальта в твердом растворе, усиливающего действие хрома и вольфрама при формировании карбидов в кобальтовой кристаллической решетке.

В настоящей статье авторами исследованы особенности структурообразования и свойства износостойкого покрытия, образуемого при помощи порошка *EuTroLoy 16006.04 (Stellite 6)*. Сплав на основе данного порошка обладает следующими отличительными свойствами: высокой устойчивостью к абразивному воздействию под давлением и при ударных нагрузках, устойчивостью к тепловому и коррозионному воздействию, низким коэффициентом скольжения по металлу, не чувствительностью к износу, яркостью и блеском. Химический состав и процентное содержание компонентов *EuTroLoy 16006.04*, а также их температуры кипения и плавления приведены в таблице. Каждый из легирующих элементов,



Рис. 1. Оборудование плазменно-порошковой наплавки компании Castolin Eutectic: 1 – блок управления, источник тока EuTronic GAP 2001 DC Touch Screen; 2 – охлаждающие устройства Cooling GAP; 3 – блок управления перемещения; 4 – деталь для наплавки; 5 – плазматрон GAP IMPA 100; 6 – горелка GAP E42; 7 – емкость для порошка; 8 – баллоны с газом

входящих в состав данного присадочного порошка, способствует обеспечению следующих свойств получаемого сплава: Cr – стабилизация поверхности и карбидообразование, W – твердорастворное упрочнение, Ni – стабилизация аустенита, C – образование карбидов и т. д. [4].

Характеристики порошка EuTroLoy 16006.04 (Stellite 6)

Компоненты	Co	Cr	W	Ni	Mo	C	Si	Fe
Содержание компонентов, %	Ос-нова	28,7	4,7	1,9	2,2	1,2	1,23	1,9
$T_{пл}, K$	1765	2150	3693	1728	2623	3600	1420	1539
$T_{кип}, K$	3230	2946	5933	3073	4639	4200	2600	2900

Процесс наплавки осуществляли на стальной подложке (Сталь 45) толщиной 50 мм с помощью оборудования и дополнительных аксессуаров для процесса плазменно-порошковой наплавки (рис. 1) компании Castolin Eutectic (Польша), которая является мировым лидером по вопросам технического обслуживания, ремонта и защиты от износа деталей машин. Перед процессом наплавки порошок поверхность образцов была тщательно подготовлена с помощью шлиф-машинки. Процесс наплавки проводили при следующем режиме: ток – 120 А, скорость перемещения детали – 25 мм/с, расход порошка – 330 г/мин.

На прочность связи наплавленного порошка с подложкой влияют степень проплавления и характер диффузионных процессов, протекающих в приграничных участках наплавки, а также прочность сцепления покрытия с подложкой и отсутствие дефектов. Для таких исследований на отрезном станке из наплавленных образцов путем их разрезки по поперечному сечению были изготовлены миниатюрные образцы, которые впоследствии подвергали шлифовально-полировальной операции с помощью шлиф-листов и последующему травлению (реактив Гейна) [5].

Макро- и микроструктуру шлифов наплавленного порошком *EuTroLoy 16006.04* покрытия исследовали, используя современный металлографический комплекс на базе микроскопа МИ-1Т, с помощью которого можно исследовать объекты в отраженном темном и светлом полях в диапазоне увеличений 50–1500 (без иммерсионной среды). Помимо этого, оценивали толщину покрытия, степень проникновения защитного слоя в основной металл и дефектность. В результате были получены следующие данные (рис. 2, 3): покрытие обладает высокой травимостью; его толщина составляет в среднем 800 мкм; степень проникновения защитного слоя в подложку в местах начала и окончания наплаваемой дорожки равна 747 мкм, а на центральных участках – проплавление минимальное и равно 64 мкм; дефектность образца – незначительная, в основном в виде пор и несплавлений.

Микроструктура покрытия разбита на три характерные зоны (рис. 4): металл покрытия (1), переходный участок (2) и зона контакта с основным металлом (3). Начиная от зоны контакта с основным металлом, микроструктура покрытия формируется вытянутыми и столбчатыми дендритами. Затем она приоб-



Рис. 2. Макроструктура шлифа, x100

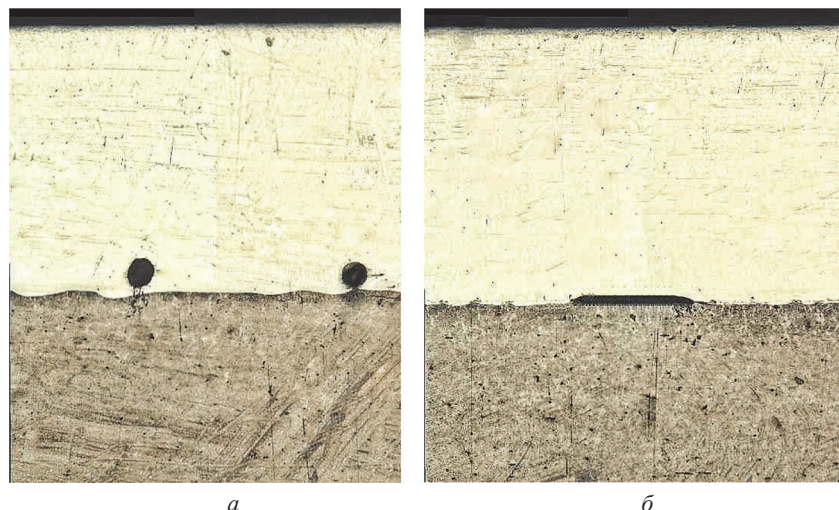


Рис. 3. Дефекты наплавленного покрытия порошком *EuTroLoy 16006.04*: а – микропора; б – микронесплавление. х200

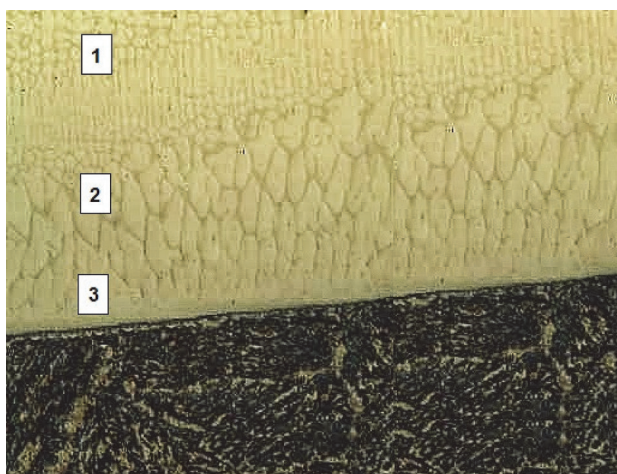


Рис. 4. Микроструктура шлифа, х1000

ретает зерненное строение вплоть до наружной поверхности покрытия. Данное структурное изменение объясняется разницей температур при затвердевании.

Анализируя микроструктуру шлифа с покрытием *EuTroLoy 16006.04*, можно сделать вывод о его двухфазном строении, характерной особенностью которого, согласно [6, 7], является наличие светлых и темных участков. Темный участок состоит из интердендритов, образованных из эвтектики Co и Cr с карбидами и имеет фазу с высоким содержанием Cr. Светлый участок состоит из дендритов раствора на основе Co и является более пластичным и твердым составом. Такие элементы, как Cr и W, вступая в реакцию с углеродом (отвечает за износостойкость), образуют необходимые карбиды, которые отвечают за твердость, абразивную и коррозионную стойкость при высоких температурах.

На размер и форму карбидов особое влияние оказывает скорость их затвердевания, что впоследствии сказывается на твердости покрытия. Ввиду гетерогенной (неоднородной) природы некоторых покрытий величина твердости может зависеть от того, в какой части покрытия она была измерена. С целью определения показателя твердости рассматриваемых образцов были проведены испытания на микротвердость при помощи современного автоматизированного комплекса ПМТ-3М. Нагрузка на индентор составляла 200 г, время выдержки – 5 с.

В результате математико-статистического анализа [8] полученных экспериментальных значений $n = 60$ было установлено следующее. Структура покрытия в каждом из слоев достаточно однородна, о чем свидетельствует коэффициент вариации, равный $V \approx 7-8 < 10\%$. Для определения уровня взаимосвязи между расстоянием от поверхности образца (x) и твердостью (y) был вычислен коэффициент корреляции, величина которого составила $r_{xy} = 0,9 \rightarrow 1,0$, что говорит о высокой зависимости рассматриваемых величин. Наилучшим аппроксимирующим уравнением зависимости микротвердости от расстояния непосредственно в зоне наплавки является полиномиальная линия (коэффициент достоверности аппроксимации $R = 0,8993$). Таким образом, учитывая однородность рассматриваемой выборки, а также высокую корреляционную связь между рассматриваемыми величинами, при наличии установленного уравнения аппроксимации можно определить значение микротвердости в любой точке исследуемого образца [8]. Полученная микротвердость по шкале Виккерса показана на рис. 5.

Из рисунка видно, что с увеличением расстояния от ненаплавленной поверхности стального образца к зоне слияния с наплавленным покрытием твердость стали повышается от 230 до 261 HV. Достигая зоны слияния подложки с покрытием (зона термического влияния), наблюдается резкий скачок показате-

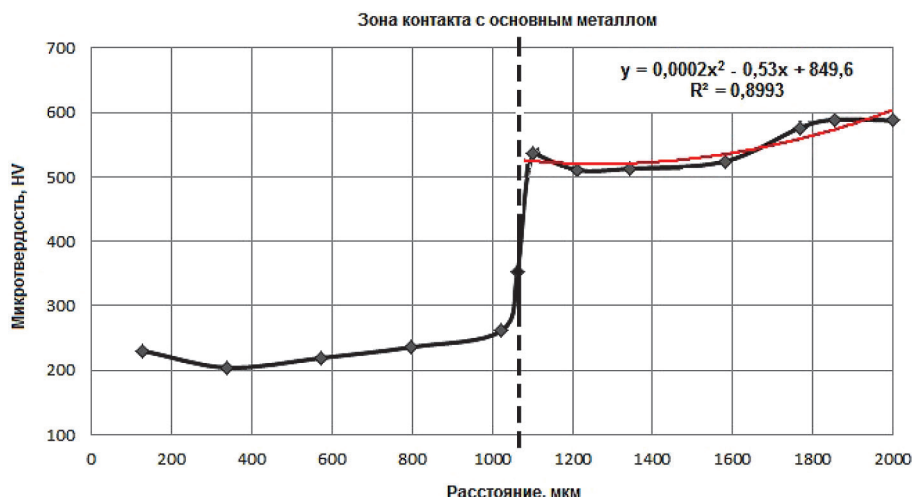


Рис. 5. Характеристика микротвердости образцов

ля твердости, что объясняется минимальной зоной термического влияния и отсутствием примеси компонентов Стали 45 и наплавляемого покрытия. Твердость покрытия вблизи зоны термического влияния составляет 536 HV, а максимальная твердость у его наружной поверхности стабильна и составляет 603–604 HV. Таким образом, твердость исходной Стали 45 благодаря применению плазменно-порошковой наплавки возросла в 2,5 раза, в связи с чем можно предполагать, что износостойкие характеристики в целом увеличатся.

Выводы

По результатам комплексного исследования покрытия (макро- и микроструктура, твердость, величина проплавления, дефектность, толщина покрытия) на основе порошка *EuTroLoy 16006.04* установлено, что плазменно-порошковая наплавка обеспечивает высокое качество и однородность наплавленного металла. Применение данной наплавки имеет однородное покрытие и характеризуется неразбавленной сталью. При этом твердость наплавляемого покрытия в 2,5 раза превышает твердость основного металла.

Литература

1. Пантелеенко Ф. И. Восстановление деталей машин: Справ. / Ф. И. Пантелеенко, В. П. Лялякин, В. П. Иванов, В. М. Константинов. М.: Машиностроение, 2003.
2. Капралов Е. В. и др. Структура и свойства композиционных износостойких наплавов на сталь. Новокузнецк: СибГИУ, 2014.
3. Степанова Е. И. Износо- и коррозионностойкие сплавы для нефтегазовой промышленности / Е. И. Степанова // Арматуростроение. 2007. № 1. С. 40–44.
4. Бабичев А. П. и др. Физические величины: Справ. М.: Энергоатомиздат, 1991.
5. Худокормова Р. Н. Материаловедение / Р. Н. Худокормова, Ф. И. Пантелеенко, Д. А. Худокормов. Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2014.
6. Deng H. Influence of coating thickness and temperature on mechanical properties of steel deposited with Co-based alloy hardfacing coating / H. Deng, H. Shi, S. Tsuruoka // Surface & coatings technol, 2010. No. 325. P. 3927–3934.
7. Gholipour A. Microstructure and wear behavior of stellite 6 cladding on 17–4PH stainless steel / A. Gholipour, M. Shamina, F. Ashrafizadeh // J. Alloys Compd. 2011. No. 509. P. 4905–4909.
8. Браунли К. А. Статистические исследования в производстве / Пер. с англ. В. А. Говоркова. М.: Печат. двор в Лгр., 1949.

References

1. Panteleenko F. I., Lyalyakin V. P., Ivanov V. P., Konstantinov V. M. *Vosstanovlenie detalej mashin* [Restoration of machine parts: a Handbook]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2003.
2. Kapralov E. V. et al. *Struktura i svoystva kompozitsionnykh iznosostojkikh naplavoov na stal'* [Structure and properties of composite wear-resistant surfacing on steel]. Novokuzneck, SibGIU Publ., 2014.
3. Stepanova E. I. *Iznoso- i korrozionnostojkie splavy dlya neftegazovoj promyshlennosti* [Wear and corrosion resistant alloys for oil and gas industry]. *Armaturostroenie = The valve Industry magazine*, 2007, no. 1, pp. 40–44.
4. Babichev A. P. et al. *Fizicheskie velichin* [Physical magnitudes]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1991.
5. Hudokormova R. N., Panteleenko F. I., Hudokormov D. A. *Materialovedenie* [Materials science]. Minsk, Novoe znanie Publ.; Moscow, INFRA-M Publ., 2014.
6. Deng H., Shi H., Tsuruoka S. Influence of coating thickness and temperature on mechanical properties of steel deposited with Co-based alloy hardfacing coating. *Surface & coatings technol*, 2010. No. 325, pp. 3927–3934.
7. Gholipour A. Microstructure and wear behavior of stellite 6 cladding on 17–4PH stainless steel / Gholipour A., Shamina, M., Ashrafizadeh F. *J. Alloys Compd.* 2011. no. 509, pp. 4905–4909.
8. Braunli K. A. *Statisticheskie issledovaniya v proizvodstve* [Statistical studies in the production]. Moscow, Pechat. dvor v Lgr. Publ., 1949.



УДК 621.316

Поступила 25.05.2017

**ФОРМИРОВАНИЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРИ
НАПЛАВКЕ ЛАЗЕРОМ С ПОДАЧЕЙ ПРИСАДОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ****THE FORMATION OF BIMETALLIC CONNECTION IN WELDER
DEPOSITION UNDER LASER WELDING WITH THE FILLER WIRE FEED**

*А. П. ЕЛИСТРАТОВ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь,
пр. Независимости, 65. E-mail: alexeiye@gmail.com.*

*A. P. YELISTRATOV, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave.
E-mail: alexeiye@gmail.com*

В работе проанализированы металлургические и технологические особенности процесса наплавки на роботизированной установке с полупроводниковым лазером. Показана перспективность использования луча с низкой плотностью энергии в пятне нагрева для нанесения металлических слоев с использованием присадочной проволоки.

The metallurgical and technological features of welding deposition in a robotic unit with a semiconductor laser are analyzed. The prospects of using beam with low energy density in the spot heating for applying metallic layers using filler wire are shown.

Ключевые слова. Плоский луч, формирование ванны металла, проплавление основы, диффузионные процессы через линию сплавления.

Keywords. Flat beam, molten metal pool forming, penetration of base metal, diffusion processes through the line of fusion.

Использование высокоэнергетического светового луча современных лазеров позволяет успешно решить многие проблемы, связанные с резкой, сваркой и поверхностной обработкой металлов.

Особую группу технологий представляет изготовление биметаллических деталей, состоящих из металла основы и легированного металлического слоя на рабочей поверхности, нанесенного с целью повышения износостойкости или восстановления размеров. Большое значение при этом имеет не только минимальное проплавление основного металла, но и исключение перегрева и выгорания легирующих элементов, обеспечивающих высокую износостойкость наплавленному слою. Поэтому необходим источник нагрева с плотностью энергии в пятне нагрева, позволяющей эффективно плавить присадочный металл – металлический порошок, проволоку и др., но исключая перегрев основы и ее интенсивное испарение в пятне нагрева. Опубликованные результаты исследований упоминают трудности с оплавлением проволоки лучом лазера, отмечается незначительная абсорбция энергии луча, увеличивающаяся с возрастанием скорости подачи проволоки, и неравномерное плавление проволоки. Рекомендуется использование лазерной газопорошковой наплавки [1, 2], что не представляется достаточно эффективным процессом для промышленного применения. Стабильные результаты были достигнуты лишь с подачей тонкой проволоки (0,4 мм) в луч 4 кВ YAG-лазера [3] и при подаче 0,9-миллиметровой проволоки в луч 5 кВ CO₂-лазера при скорости ее подачи до 90 см/мин и дефокусированном луче с плотностью энергии в пятне нагрева $0,6 \cdot 10^5$ Вт/см² [4].

Были проанализированы технические характеристики лазеров различных типов, и для дальнейших экспериментов был выбран диодный лазер HPDDL-ISL-4000L Nuvonux (4 кВ), имеющий достаточную плотность энергии в пятне нагрева (10^3 Вт/см²), фокальное расстояние 94 мм и размер пятна нагрева на этом расстоянии: 12×0,5 мм при длине волны светового луча 805 нм. Такой размер пятна нагрева делает этот тип лазера очень привлекательным для поверхностного упрочнения и наплавки, тем более что его энергетическая эффективность составляет 40–50% вместо 3–20% для приведенных выше лазеров.

Для экспериментов диодный лазер был установлен на робот и оснащен системой подачи присадочной проволоки и другим вспомогательным оборудованием (рис. 1). Вследствие прямоугольной формы

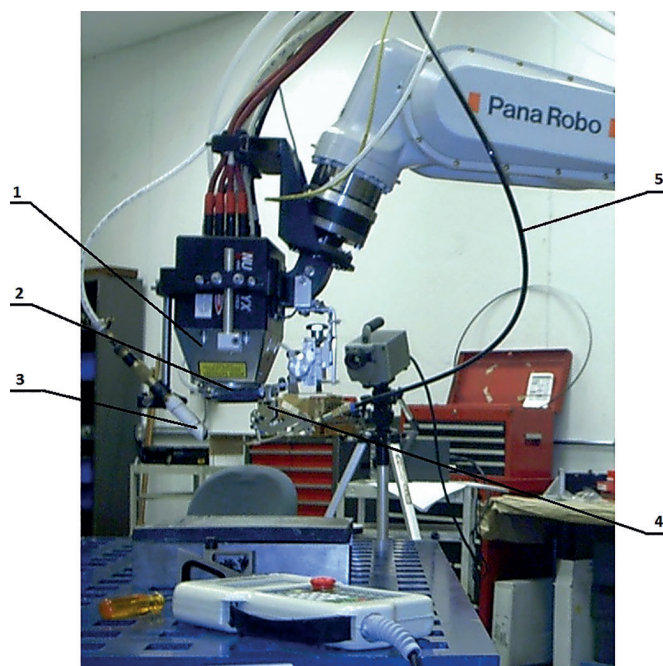


Рис. 1. Основные элементы экспериментальной установки: 1 – головка лазера Nuvonux 4000L; 2 – оптическая система и защитное стекло; 3 – система подачи защитного газа; 4 – система подачи и регулировки положения присадочной проволоки; 5 – гибкий кабель для подачи проволоки

поверхности проволоки), поглощает определенную часть энергии луча, но боковые участки поверхности проволоки интенсивно отражают луч. В случае подачи проволоки в луч над поверхностью ванны расплавленного металла плавление проволоки и формирование капли металла происходят аналогично, как по дуговой сварке плавящимся электродом на режимах крупнокапельного переноса. Но в данном случае отсутствуют силы, связанные с использованием сварочного тока, и отрыв, и перемещение капли расплавленного металла происходят под действием только сил тяжести и поверхностного натяжения. Капли расплавленного металла проволоки имеют значительный диаметр (до 2–3 мм) и при своем отрыве от торца проволоки и переходе в ванну вызывают колебания ее поверхности, тем более, что объем ванны всего лишь в 3–4 раза превышает объем капли. В результате колебаний поверхности ванны образуются чешуйки на поверхности наплавленного валика. Предварительные эксперименты выявили некоторые

пятна нагрева был введен дополнительный параметр режима наплавки – угол расположения луча относительно направления наплавки (рис. 2).

В экспериментах использовали сплошную стальную (ER-420) и порошковую (S-134) проволоку диаметром 1,0 мм, а также несколько образцов были наплавлены с подачей металлического порошка стали 420 и смеси карбида вольфрама (50%) и никеля (50%) через обычный порошковый питатель при подаче 50 г/мин. Химический состав используемых материалов приведен в табл. 1.

Таблица 1

Материал	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	P/S	Fe
Проволока ER-420	0,35	0,6	0,5	13	0,6	0,7	0,75	0,03	Осн.
Проволока S-134	2–7	1–3	1–3	20–30	–	0,5–4	–	0,04	Осн.
Основной металл	0,25	1,15	0,3	–	–	–	–	0,04	Осн.

Предварительные эксперименты показали, что при подаче проволоки в пятно нагрева только узкий участок поверхности проволоки, расположенный перпендикулярно лучу (верхняя часть поверхности проволоки), поглощает определенную часть энергии луча, но боковые участки поверхности проволоки интенсивно отражают луч. В случае подачи проволоки в луч над поверхностью ванны расплавленного металла плавление проволоки и формирование капли металла происходят аналогично, как по дуговой сварке плавящимся электродом на режимах крупнокапельного переноса. Но в данном случае отсутствуют силы, связанные с использованием сварочного тока, и отрыв, и перемещение капли расплавленного металла происходят под действием только сил тяжести и поверхностного натяжения. Капли расплавленного металла проволоки имеют значительный диаметр (до 2–3 мм) и при своем отрыве от торца проволоки и переходе в ванну вызывают колебания ее поверхности, тем более, что объем ванны всего лишь в 3–4 раза превышает объем капли. В результате колебаний поверхности ванны образуются чешуйки на поверхности наплавленного валика. Предварительные эксперименты выявили некоторые

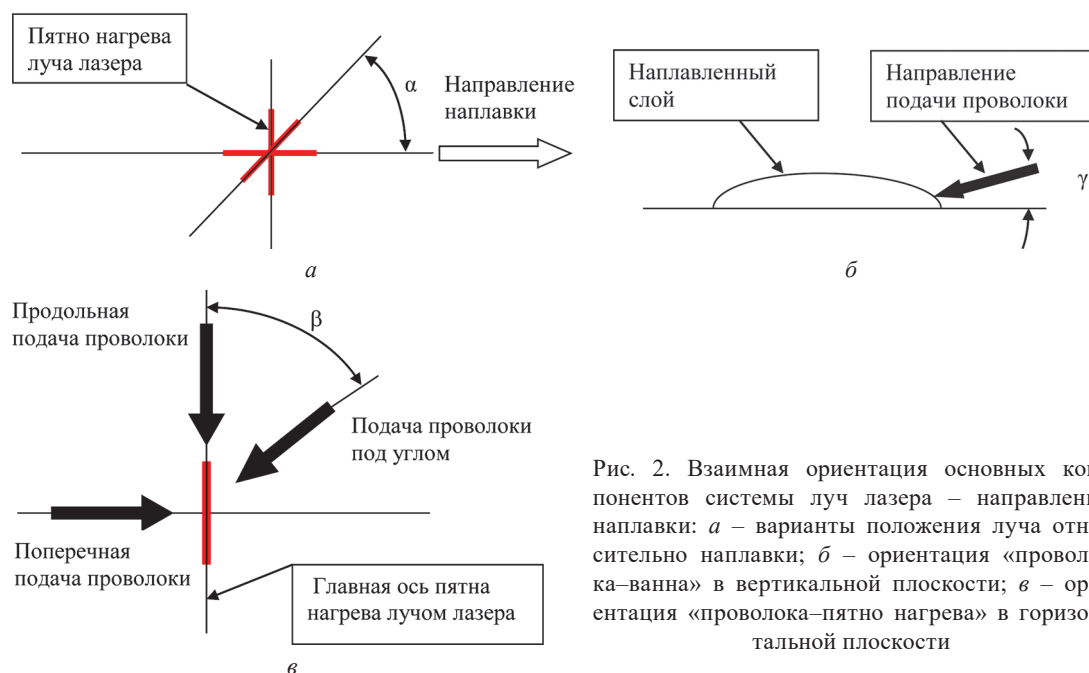


Рис. 2. Взаимная ориентация основных компонентов системы луч лазера – направление наплавки: а – варианты положения луча относительно наплавки; б – ориентация «проволока–ванна» в вертикальной плоскости; в – ориентация «проволока–пятно нагрева» в горизонтальной плоскости

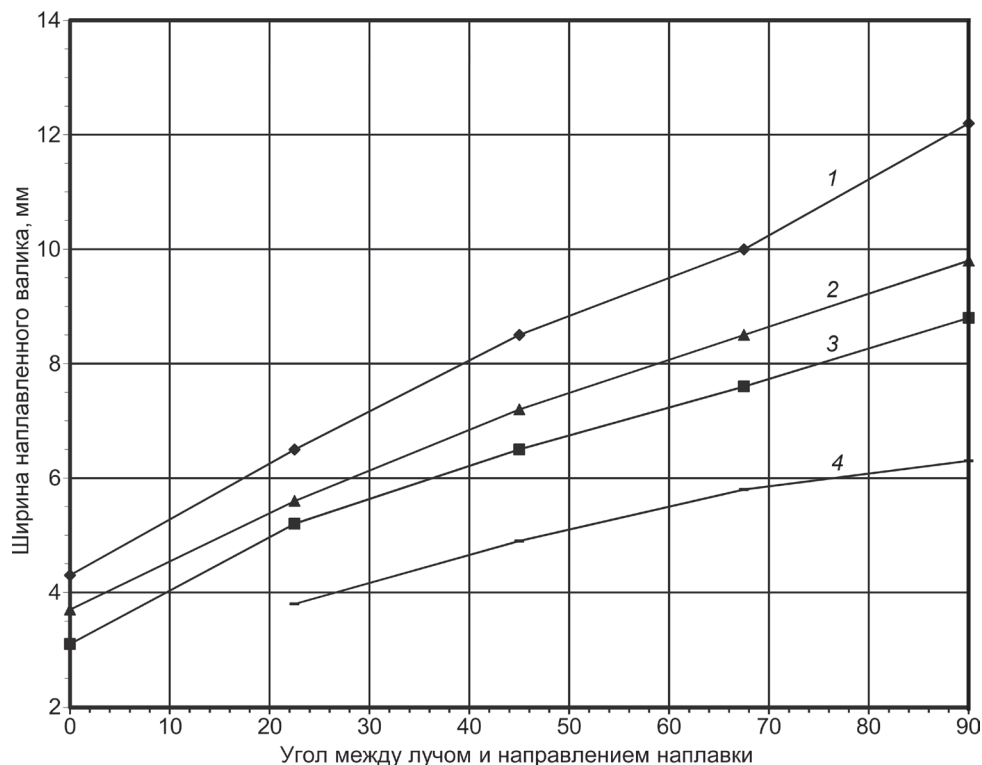


Рис. 3. Ширина наплавленного валика в зависимости от угла «проволока – луч», рабочего расстояния и энергии луча: 1 – 4 кВ, 95 мм; 2 – 3 кВ, 95 мм; 3 – 4 кВ, 105 мм; 4 – 3 кВ, 105 мм

технические трудности, связанные с подачей проволоки в лазерный луч над ванной расплавленного металла и для дальнейших экспериментов был выбран способ подачи проволоки непосредственно в ванну. Это позволило уменьшить экранирующий эффект, оказываемый проволокой на край валика, и обеспечить более эффективный ее нагрев, так как в этом случае вся наружная поверхность проволоки адсорбирует тепло. Следует отметить, что подача проволоки в ванну может производить определенный охлаждающий эффект, что необходимо учитывать при выборе диаметра проволоки для конкретных условий наплавки.

Максимальная ширина валика достигается при расположении луча перпендикулярно направлению наплавки и изменение рабочей дистанции (расстояние между лазером и поверхностью образца) на 10 мм оказывает больший эффект, чем снижение энергии луча с 4 до 3 кВ (рис. 3). Рабочая дистанция – важный параметр, что объясняется значительной степенью дивергенции луча, присущей данному типу лазера.

Особенностью этого процесса наплавки является существование двух размеров, относящихся к ширине наплавленного слоя: ширина зоны, оплавленной лучом, и ширина валика наплавленного металла. При расположении луча перпендикулярно направлению наплавки ванна расплавленного металла широкая и мелкая и при ее остывании развиваются значительные силы поверхностного натяжения, стягивающие расплавленный металл к оси валика. Это способствует образованию узкой оплавленной зоны вдоль валика, а такой узкий валик обычно формируется при значительной тепловой мощности луча и недостаточной скорости подачи проволоки. При увеличенной подаче проволоки и большем объеме ванны валик становится шире и располагается на всей оплавленной лучом зоне. Эта особенность типична для перпендикулярного расположения луча и при уменьшении угла α (см. рис. 2) валик становится более равномерным, а ванна – более высокой, что облегчает подачу в нее проволоки.

Главным достоинством исследуемого процесса наплавки является минимальное проплавление основного металла. В широком диапазоне исследуемых параметров средняя глубина проплавления составляла $0,4 \pm 0,2$ мм. При этом на малых скоростях наплавки глубина проплавления была неравномерная, с местными «углублениями», но при увеличении скорости наплавки она снижалась и становилась равномерной. Равномерное проплавление достигается и при меньшей мощности луча, а увеличение рабочей дистанции на 10 мм от фокальной высоты нарушает форму валика. Изменения рабочей дистанции могут быть скомпенсированы скоростью наплавки. В этом случае ширина валика (7–8 мм) остается такой же, как при меньшей мощности луча и меньшей скорости наплавки.

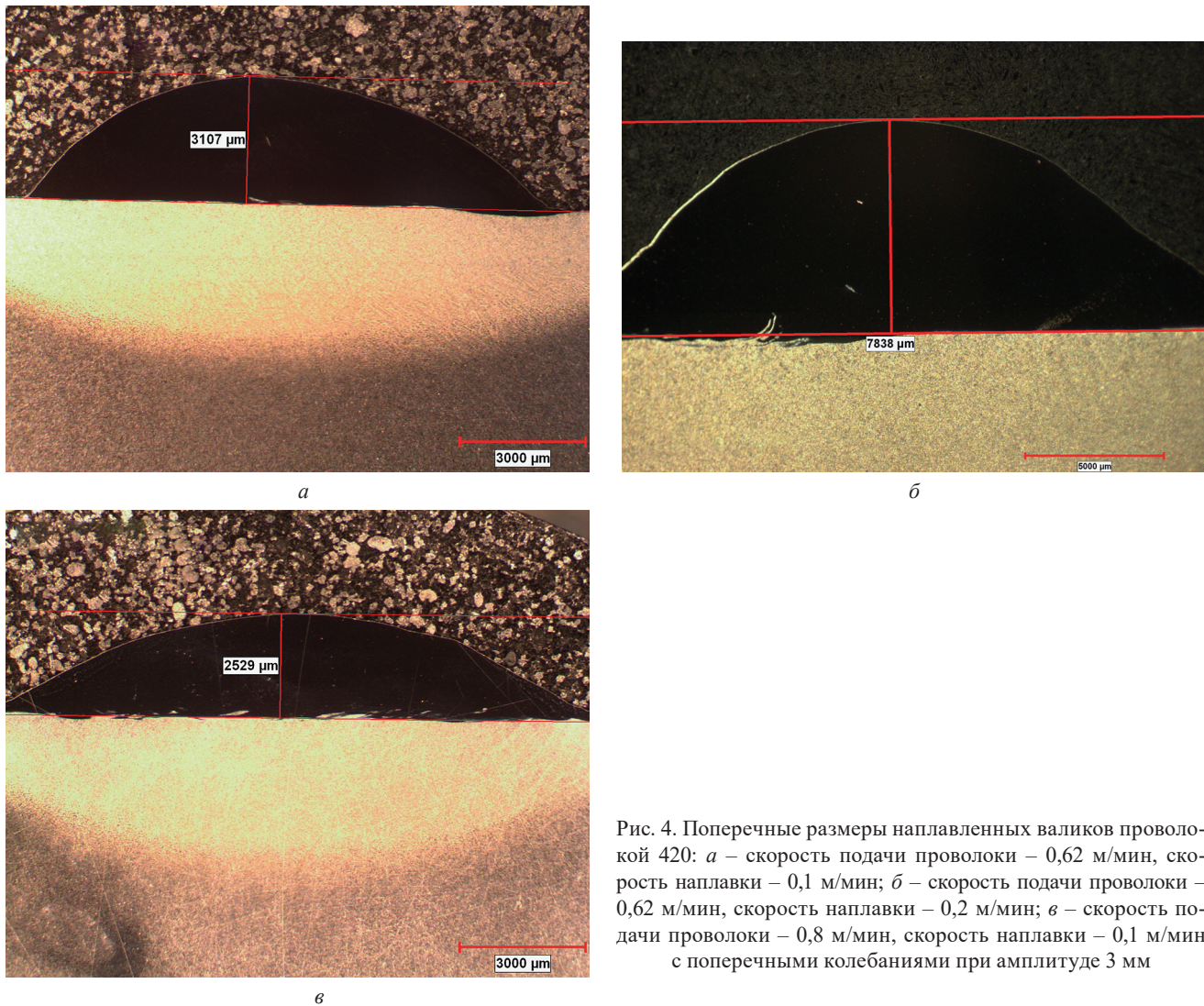


Рис. 4. Поперечные размеры наплавленных валиков проволокой 420: *а* – скорость подачи проволоки – 0,62 м/мин, скорость наплавки – 0,1 м/мин; *б* – скорость подачи проволоки – 0,62 м/мин, скорость наплавки – 0,2 м/мин; *в* – скорость подачи проволоки – 0,8 м/мин, скорость наплавки – 0,1 м/мин с поперечными колебаниями при амплитуде 3 мм

Поперечные сечения валиков, наплавленных проволокой ER-420 при мощности луча 4 кВт с использованием фокусировки луча 12×6 мм и параметрах процесса (скорость подачи проволоки/скорость наплавки, м/мин) соответственно 0,63/0,1; 0,63/0,24; 0,76/0,1, приведены на рис. 4, *а*, *б*, *в*.

Металлографические исследования на сканирующем электронном микроскопе (рис. 5) подтвердили отсутствие дефектов и наличие очень узкой зоны сплавления. Так, при наплавке исследованными проволоками длина зоны диффузии хрома в основной металл составила менее 5 мкм (рис. 6). На рисунке маркировка линий соответствует марке используемого наплавочного материала и режиму наплавки (табл. 2).

Таблица 2

Номер образца	5,1	6,2	8,3	9,5	10,3
Мощность луча, кВт	4	4	4	4	4
Размер пятна, мм	12×0,5	12×0,5	12×6	12×6	12×6
Подача проволоки, м/мин	–	–	0,62	0,62	0,80
Скорость наплавки, м/мин	0,4	0,3	0,1	0,2	0,1

Наплавка с подачей порошкового присадочного металла (порошок 420) выявила определенные сложности, связанные со значительной абсорбцией газов частицами порошка и интенсивным газовыделением при наплавке. При этом удовлетворительное формирование наплавленного валика наблюдалось в довольно узком диапазоне режимов (рис. 7, *а*, *б*), где представлены шлифы образцов, наплавленных с подачей смеси порошков карбида вольфрама (65%) и никеля (35%). Как видно из рисунка, наплавленный слой не имеет дефектов, а частицы карбида вольфрама сохранили свои острые грани, что гарантирует высокие прочностные свойства этого композиционного слоя в условиях эксплуатации. На рис. 7, *б*

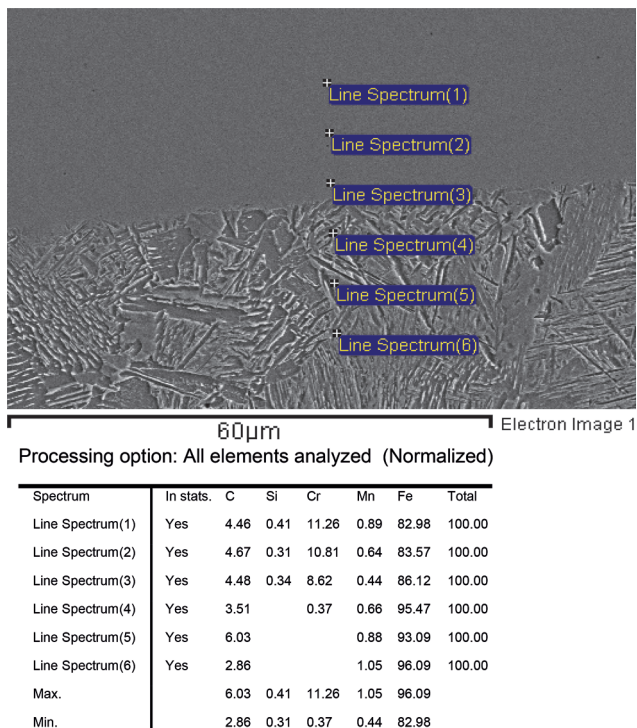


Рис. 5. Распределение химических элементов поперек линии сплавления, исследования на SEM наплавки проволокой 420 (образец 8,3)

Концентрация хрома поперек линии сплавления

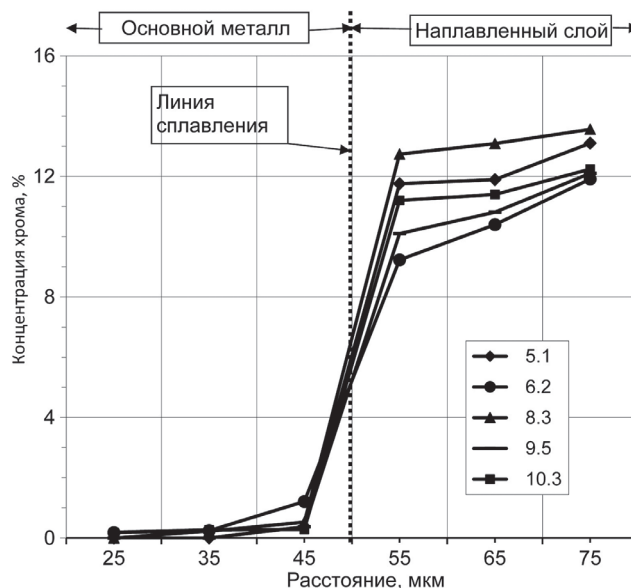
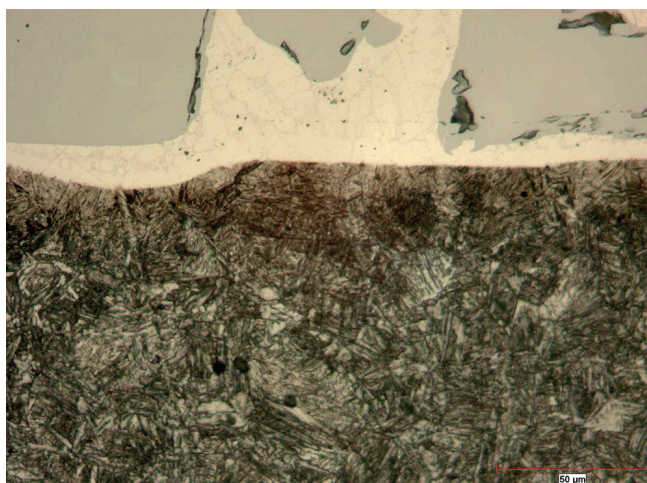
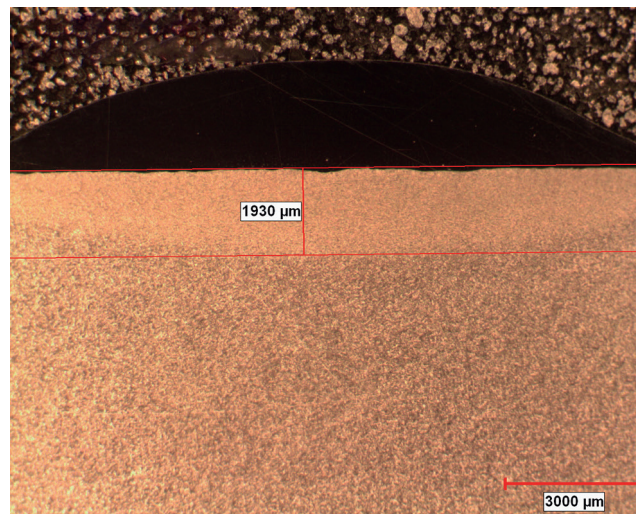


Рис. 6. Концентрация хрома поперек линии сплавления для различных присадочных проволок и режимов наплавки



а



б

Рис. 7. Наплавленный слой с подачей порошковой смеси Stellite (65% карбида вольфрама и 35% никелевого сплава), луч 4 кВ, размер пятна нагрева – 12×0,5 мм, скорость наплавки – 0,5 м/мин (а); наплавленный слой с подачей порошка из стали S-420 (б)

показан слой, наплавленный с использованием металлического порошка из стали S-420 (табл. 2, образец 6,2).

Выводы

1. Полупроводниковый лазер HPDDL-4000 обладает рядом технологических особенностей, делающих его перспективным для применения при наплавке и других видах поверхностной обработки. Низкая плотность энергии в луче по сравнению с другими типами лазеров позволяет избежать интенсивного проплавления основного металла и повысить коэффициент перехода легирующих элементов в покрытие.

2. При лазерной наплавке использование легированных порошковых проволок сопровождается интенсивным разбрызгиванием металла, что представляет опасность для оптической системы лазера и не может быть рекомендовано.

3. Глубина проплавления основного металла составляла 0,1–0,6 мм, ширина диффузионной зоны вдоль линии сплавления – до 5 мкм. Производительность расплавления стальной проволоки – до 2,9 см³/мин.

4. В связи с прямоугольным профилем луча вводится дополнительный параметр процесса: угол поворота луча относительно направления наплавки, который позволяет контролировать ширину ванны расплавленного металла и ширину валика, а также поддерживать минимальной глубину проплавления.

5. Вследствие высокой эффективности процесса диодный лазер может быть успешно применяться при изготовлении биметаллических деталей, восстановлении и упрочнении деталей машин, обеспечивая высокие служебные характеристики наносимого металлического слоя путем устранения перегрева легирующих элементов при достаточной производительности процесса наплавки.

Литература

1. **Иванов В. П., Ивашко В. С. и др.** Восстановление и упрочнение деталей: справ. Минск: Наука и технологии, 2013. 367 с.
2. **Ивашко В. С.** Прогрессивные технологии при ремонте машин, восстановлении и упрочнении деталей. Минск: Тонпик, 2006. 284 с.
3. **Hendel R.** 2002. Tooling corner: laser deposition technology: option for mold repair. Plastic Machinery and Auxiliaries, no. 4.
4. **Breinan E. M., Kear B. H.** 1998. Rapid solidification laser processing for control of microstructures and properties, Conference on Rapid Solidification Processing. Claitor's Publishing Div., Baton Rouge, La., p. 87.

References

1. **Ivanov V. P., Ivashko V. S.** *Vosstanovlenie i uprochnenie detalej* [Restoration and hardening of parts]. Minsk, Nauka i tehnologii Publ., 2013, 367 p.
2. **Ivashko V. S.** *Progressivnye tehnologii pri remonte mashin, vosstanovlenii i uprochnenii detalej* [Progressive technologies for repairing machines, restoring and strengthening parts]. Minsk, Tonpik Publ., 2006, 284 p.
3. **Hendel R.** 2002. Tooling corner: laser deposition technology: option for mold repair. Plastic Machinery and Auxiliaries, no. 4.
4. **Breinan E. M., Kear B. H.** 1998. Rapid solidification laser processing for control of microstructures and properties, Conference on Rapid Solidification Processing. Claitor's Publishing Div., Baton Rouge, La., p. 87.



УДК 669.15-198:669.295

Поступила 04.08.2017

ПОЛУЧЕНИЕ ФЕРРОТИТАНА МЕТОДОМ АЛЮМОТЕРМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ИЗ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

PROCUREMENT OF FERROTITAN FROM METAL INDUSTRY WASTE BY METHOD OF ALUMOTHERMAL SYNTHESIS

А. А. ЖУКОВА, К. Б. ПОДБОЛОТОВ, А. А. ИЗЮМОВ, В. В. ПЕТРЕНКО, Физико-технический институт НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь, ул. Купревича, 10. E-mail: hannahukova@mail.ru

A. A. ZHUKOVA, K. B. PODBOLOTOV, A. A. IZYUMOV, V. V. PETRENKO, Physical-Technical Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, 10, Kuprevicha str. E-mail: hannahukova@mail.ru

Проведены исследования получения ферротитана марки ФТi25 из отходов производства методом алюмотермического синтеза. Термодинамическим анализом показано, что отличия при использовании оксида железа (Fe_2O_3) и железной окалины (Fe_3O_4) незначительные, что подтверждается экспериментальными результатами. По данным элементного анализа, при использовании железной окалины, получаемый сплав содержит 18,0–21,5% титана и 68–73% железа. Изучение структуры показало, что при кристаллизации получаемого сплава в нем образуются две основные фазы: избыточная, представлена дендритами с ярко выраженными границами, длина оси первого порядка дендрита составила около 250 мкм, и имеющая эвтектическое строение, выделяется в междендритном пространстве. Установлено, что с увеличением массовой доли оксида кальция в шихте происходят увеличение дисперсности структурных компонентов и некоторая их сфероидизация, переход избыточной фазы в глобулярную.

Researches of procurement of ferrotitanium of Fti25 brand from waste products by method of aluminothermic synthesis are conducted. The thermodynamic analysis revealed that differences in using oxide of iron (Fe_2O_3) and iron cinder (Fe_3O_4) are subtle and it is confirmed by the experimental results. According to an elemental analysis, when using an iron cinder, the received alloy contains 18, 0–21,5 titanium and 68–73% of iron. Research of structure showed that at a crystallization of the received alloy two main phases are formed: exuberant, which is presented by dendrites with pronounced borders length of an axis of first order of a dendrite was about 250 microns and having the eutectic structure, is allocated in interdendritic space. It is established that the increase in a mass fraction of oxide of calcium in fusion mixture there is an increase in dispersion of structural components and some sferoidization, transition of an excess phase to globular.

Ключевые слова. Ферросплавы, ферротитан, отходы металлургического производства, ильменитовый концентрат, окалина.

Keywords. Ferroalloys, ferrotitanium, waste products of metallurgy production, ilmenite concentrate, scale.

Введение

В настоящее время в Республике Беларусь имеется потребность создания технологии изготовления группы малых ферросплавов [1], а именно ферротитана и сплавов систем Fe-Si-Ti, Ti-Cr-Al, Ti-Cr-Al, Fe-Ti-Ni для нужд отечественной металлургии. Ферросплавы или же сплавы железа с другими элементами (Cr, Si, Mn, Ti и др.) применяются главным образом для раскисления и легирования стали. Их получают из руд или концентратов в электропечах или плавильных горнах. Как правило, стоимость металла в виде ферросплава ниже, чем стоимость его в чистом виде. Это связано, в частности, с тем, что руда обычно содержит, в том или ином виде железо, при переработке переходящее в сплав вместе с основным компонентом, и технологическая схема получения ферросплава оказывается одним из самых коротких и дешевых путей переработки сырья. В то же время для получения чистого сплава в технологию приходится вводить дополнительные этапы, усложняющие процесс и увеличивающие затраты. При этом получение железистого металла может быть либо полностью исключено, либо являться одним из промежуточных этапов, когда получаемый переделный ферросплав перерабатывается на чистый металл. При восстановительной плавке железо, растворя основной элемент, снижает его активность, понижает температуру

Актуальность проблемы производства ферросплавов подтверждается перечнем технических, экономических и маркетинговых задач, актуальных для ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» и, в частности, для входящего в состав холдинга ОАО «Белцветмет». При синтезе ферросплавов методом алюмотермии возникает проблема подбора рационального сочетания исходных компонентов с целью обеспечения энергоэффективности синтеза, необходимого химического и фазового состава продукта, а также выделения шлаков. Успешное решение проблемы позволит осуществить импортозамещение потребляемых ферросплавов и расширить научную базу в области алюмотермии.

Для получения ферротитана использовали следующие компоненты:

- Сырьевую смесь готовили путем смешения определенного количества исходных компонентов, предварительно взвешенного на электронных весах. Точность взвешивания составляла $\pm 0,1$ г. Смешение производили в шаровой мельнице в течение 10 мин с использованием стальных мелющих тел. Полученные смеси массой 300 г засыпали в тигли и подогревали до 300–400 °С в сушильном шкафу типа СНОЛ. После подогрева тигли помещали в теплоизолирующие контейнеры и производили поджиг смеси. После прохождения горения полученные литые образцы дробили в щековой, а затем молотковой дробилке. Разделение металла и шлака выполняли вручную.

Рентгенофазовый анализ (РФА) исходных веществ и продуктов синтеза проводили на установке ДРОН-3 с ионизационной регистрацией рентгеновских лучей при использовании медного Cu-K_α катода и детектора-счетчика Гейгера, а также на рентгеновском дифрактометре D8 ADVANCE фирмы «Bruker» (Германия). Для идентификации кристаллических фаз использовали международную картотеку Joint Comiteion Powder Diffraction Standarts 2003 и программное обеспечение DIFFRACPLUS фирмы «Bruker». Обработку профиля дифрактограмм осуществляли с применением программного обеспечения WinPlotr, входящего в пакет FullProfSuite.

Для термодинамического моделирования процессов использовали универсальную программу АСТРА-4, разработанную в МГТУ им. Баумана.

В процессе работы был проведен ряд экспериментальных плавок смесей с различным содержанием исходных компонентов. Для исследования были выбраны составы с использованием в качестве оксида железа чистого оксида железа (III) и железной окалины, ильменитового концентрата, порошка алюминия ПА-4 и оксида кальция. Экспериментальные составы смесей приведены в табл. 1.

[illegible]

Таблица 2. Данные термодинамических расчетов при использовании оксида железа (III)

Номер состава	$T_{ад}$	Равновесный состав, мас. доля						
		$k\text{-Al}_2\text{O}_3$	$k\text{-Fe}$	$k\text{-Ti}$	$k\text{-TiO}_2$	$k\text{-Ti}_5\text{Si}_3$	$k\text{-CaAl}_4\text{O}_7$	$k\text{-Al}$
1	1977,4	0,318	0,130	0,226	0,051	0,043	0,232	
2	1967,3	0,223	0,165	0,137	0,200	0,043	0,232	
3	1944,4	0,322	0,121	0,239		0,040	0,232	0,047
4	2112,1	0,316	0,156	0,212	0,044	0,040	0,232	
5	2105,3	0,221	0,191	0,123	0,193	0,040	0,232	
6	2046,9	0,315	0,147	0,220		0,036	0,232	0,050
7	2214,9	0,315	0,182	0,197	0,039	0,036	0,232	
8	2184,8	0,220	0,217	0,108	0,187	0,036	0,232	
9	2172,4	0,309	0,172	0,201		0,034	0,232	0,052
10	2326,2	0,313	0,207	0,181	0,033	0,034	0,232	
11	2239,9	0,218	0,242	0,092	0,182	0,034	0,232	
12	2294,7	0,302	0,198	0,183		0,031	0,232	0,055
13	2327,1	0,311	0,233	0,167	0,027	0,031	0,232	
14	2326,5	0,216	0,268	0,078	0,176	0,031	0,232	
15	2326,6	0,295	0,224	0,165		0,027	0,232	0,057
16	2337,4	0,309	0,259	0,152	0,021	0,027	0,232	

Таблица 3. Данные термодинамических расчетов при использовании железной окалины

Номер состава	$T_{ад}$	Равновесный состав, мас. доля						
		$k\text{-Al}_2\text{O}_3$	$k\text{-Fe}$	$k\text{-Ti}$	$k\text{-TiO}_2$	$k\text{-Ti}_5\text{Si}_3$	$k\text{-CaAl}_4\text{O}_7$	$k\text{-Al}$
1	1977,4	0,318	0,130	0,226	0,051	0,043	0,232	
2	1950,7	0,223	0,166	0,139	0,197	0,043	0,232	
3	1944,4	0,322	0,121	0,239		0,040	0,232	0,047
4	2096,0	0,316	0,157	0,214	0,041	0,040	0,232	
5	2072,2	0,221	0,194	0,126	0,187	0,040	0,232	
6	2025,2	0,313	0,148	0,220		0,036	0,232	0,051
7	2187,4	0,315	0,184	0,201	0,032	0,036	0,232	
8	2184,1	0,220	0,220	0,114	0,178	0,036	0,232	
9	2129,2	0,304	0,175	0,201		0,034	0,232	0,055
10	2313,8	0,313	0,211	0,187	0,024	0,034	0,232	
11	2186,0	0,218	0,247	0,099	0,170	0,034	0,232	
12	2230,4	0,294	0,202	0,183		0,031	0,232	0,059
13	2326,8	0,311	0,238	0,174	0,015	0,031	0,232	
14	2310,3	0,216	0,274	0,087	0,161	0,031	0,232	
15	2326,0	0,284	0,229	0,165		0,027	0,232	0,063
16	2327,6	0,309	0,265	0,162	0,006	0,027	0,232	
17	2327,1	0,214	0,301	0,074	0,152	0,027	0,232	

Данные термодинамических расчетов для различных железоксидных компонентов (оксида железа (III) и железной окалины) приведены в табл. 2, 3. При расчете полагалось, что основным компонентом железной окалины является оксид железа Fe_3O_4 . Для расчета принимали следующий состав ильменитового концентрата: FeTiO_3 – 50,60%; TiO_2 – 42,07; SiO_2 – 3,41; Al_2O_3 – 3,92%.

Проведение термодинамических расчетов показало, что основными продуктами синтеза являются Al_2O_3 , Fe, Ti, CaAl_4O_7 , TiO_2 . По результатам расчетов можно отметить, что зависимости равновесного содержания титана и железа при использовании окалины и оксида железа практически идентичны и отличаются незначительно повышением их количества при использовании окалины.

На рис. 1, а, б приведены зависимости адиабатической температуры горения от состава и вида железосодержащего компонента, на рис. 1, в, г – зависимости равновесного содержания железа и титана при использовании окалины.

Повышение адиабатической температуры $T_{ад}$ от 2000 до 2340 К наблюдается при увеличении содержания оксида железа от 10 до 30% в данной системе, а также с уменьшением содержания ильменитового концентрата с 60 до 45%, что связано с повышением доли термитной составляющей.

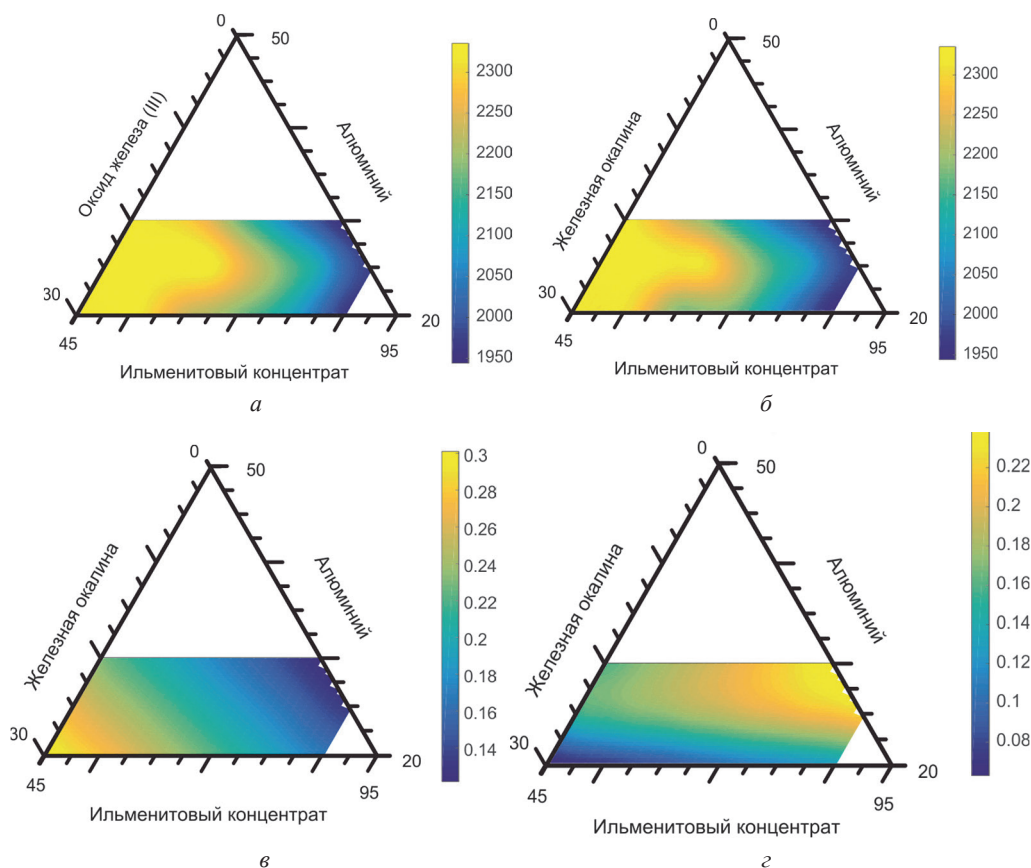


Рис. 1. Зависимости адиабатической температуры горения, К, при использовании оксида железа (III) (а) и окалины (б) и равновесного содержания, мас. доли, при использовании окалины (в – железа; г – титана)

При проведении эксперимента показано, что лучшее отделение металлической фазы от шлака обеспечивают составы № 5 (ильменитовый концентрат – 65%, алюминий – 20, оксид железа – 10, оксид кальция – 5%) и № 8 (ильменитовый концентрат – 60%, алюминий – 20, оксид железа – 15, оксид кальция – 5%). Для улучшения возможного выхода легкоплавких фаз (алюминат кальция) была проведена серия экспериментов с составом № 5, в котором было увеличено содержание оксида кальция до 10, 15 и 20%, образцы № 1, 2, 3 соответственно.

Элементный анализ образцов приведен в табл. 4.

Таблица 4. Элементный состав образцов, %

Элемент	Номер образца				
	1	2	3	5	8
Si	1,3	1,4	1,15	1,3	1,3
P	0,3	0,3	0,2	-	0,3
Ti	20,2	18,0	20,0	21,5	20,8
Cr	4,0	4,6	4,2	5,2	4,6
Mn	2,5	2,4	2,6	3,1	2,7
Fe	71,69	73,27	71,84	68,89	70,3
Mo	0,01	0,03	0,01	0,01	-

Из таблицы видно, что образец № 5 содержит наибольшее количество титана (21,5%) по сравнению с другими образцами и соответствует марке ФТн25.

Исследование микроструктуры образцов ферросплавов проводили для трех видов составов, отличающихся содержанием в шихте оксида кальция. Образцы № 1, 2 и 3 содержали 10, 20 и 30% оксида кальция соответственно. Микроструктура ферросплава № 1 показана на рис. 2.

На основании анализа полученной микроструктуры можно предположить, что при кристаллизации данного сплава в нем образовались две основные фазы. Первоначально произошло выделение избыточ-

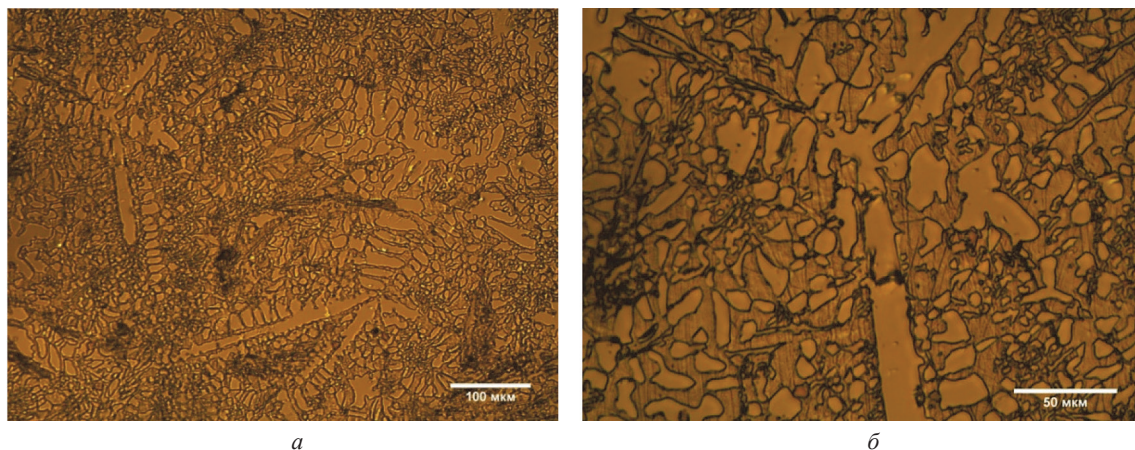


Рис. 2. Микроструктура образца ферросплава № 1 (10% оксида кальция): *a* – $\times 200$; *б* – $\times 1000$

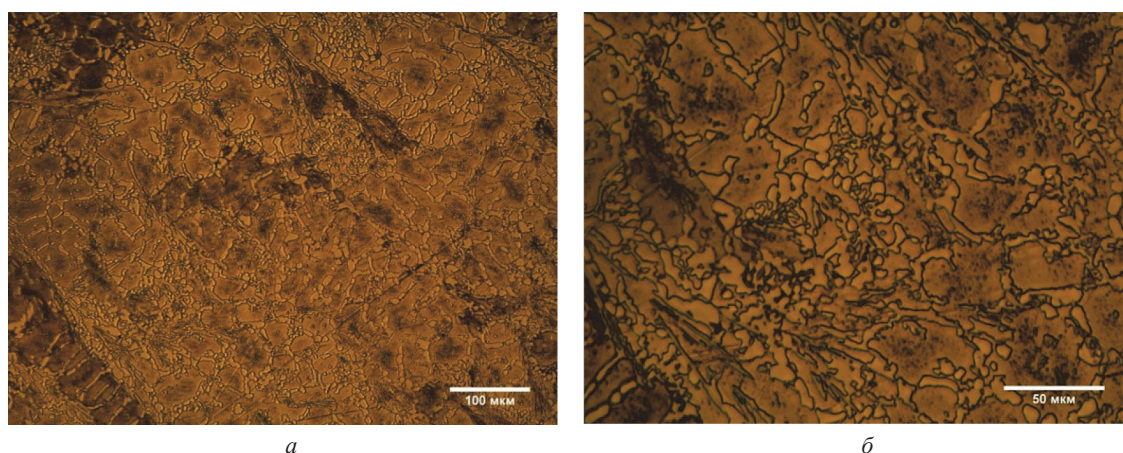


Рис. 3. Микроструктура образца ферросплава № 2 (20% оксида кальция): *a* – $\times 200$; *б* – $\times 500$

ной фазы (на рисунке она представлена характерными дендритами светлого цвета с ярко выраженными границами). Максимальная длина оси первого порядка дендрита составила около 250 мкм. Такие крупные размеры дендритов, вероятно, объясняются малой скоростью охлаждения сплава. После кристаллизации первой фазы с уменьшением температуры в междендритном пространстве началось выделение второй фазы, имеющей эвтектическое строение (на рисунке фаза более темного коричневого цвета).

Далее была исследована микроструктура ферросплава № 2 (рис. 3). В микроструктуре можно выделить те же фазовые составляющие, что и в образце № 1. Процесс выделения фаз осуществлялся также по аналогичному принципу: вначале выделилась светлая фаза, а затем более темная. Однако структура уже не представляет собой четко выраженные дендриты, имеет вытянутые включения. Эти структурные составляющие являются более дисперсными, средняя длина светлых частиц составляет около 40 мкм. Такие изменения структуры сплава, вероятно, объясняются изменением состава шихты, т. е. увеличением количества оксида кальция, что привело к изменению температурно-временных режимов формирования расплава и его последующей кристаллизации. При увеличении количества оксида кальция отмечается снижение скорости нарастания и максимальной температуры, что при аналогичных условиях охлаждения снижает время существования расплава и приводит к формированию более мелкокристаллических структурных составляющих.

Исследование микроструктуры сплава № 3 (рис. 4) позволило выявить аналогичный фазовый состав. Значительные изменения наблюдаются в форме зерен светлой фазы. Некоторые зерна при данном составе сохранились вытянутыми, а другие приняли глобулярную форму и стали более равноосными. Средний размер сечения сферообразного зерна светлой фазы составил 15 мкм.

В результате исследования структурных изменений при варьировании состава шихты можно сделать вывод о влиянии добавок оксида кальция на форму и размеры выделяющихся фаз в ферросплавах: с увеличением массовой доли оксида кальция в шихте наблюдается увеличение дисперсности структурных компонентов и некоторая их сфероидизация, т. е. переход избыточной фазы в глобулярную.

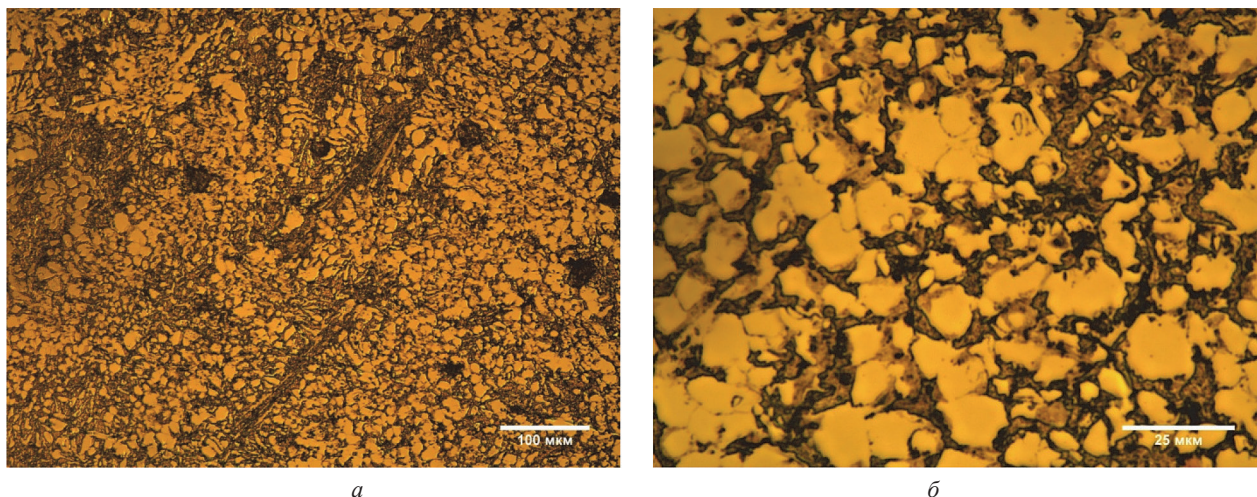


Рис. 4. Микроструктура образца ферросплава № 3 (30% оксида кальция): а – х200; б – х1000

Выводы

Проведены экспериментальные исследования при использовании различных железосодержащих компонентов – оксида железа (III) и окалины. Проведен синтез и определен элементный состав и структурно-фазовые характеристики полученного ферротитана. Полученная фаза металла имеет следующий элементный состав образцов: для № 5 – Si – 1,3%; Ti – 21,5; Cr – 5,2; Mn – 3,1; Fe – 68,89%; № 8 – Si – 1,3%; P – 0,3; Ti – 20,8; Cr – 4,6; Mn – 2,7; Fe – 70,3%. Отмечается, что при применении в качестве железокислородного компонента чистого оксида железа изменений в процессе синтеза не наблюдается. Однако в элементном составе продукта практически отсутствуют Cr и Mn, которые вносятся при использовании окалины от легированных сталей. На основании анализа микроструктуры полученной металлической составляющей можно предположить, что при кристаллизации сплава образуются две основные фазы.

Литература

1. Рожихина И. Д. Теория и технология производства ферросплавов / И. Д. Рожихина, О. И. Нохрина. В 2-х ч. Ч. 1. Теория и технология производства ферросплавов. Новокузнецк: СибГИУ, 2006.

References

1. Rozhihina I. D., Nohrina O. I. *Teorija i tehnologija proizvodstva ferrosplavov* [Theory and technology of production of ferroalloys]. V2-h ch. Ch.1. *Teorija i tehnologija proizvodstva ferrosplavov* [Theory and technology of production of ferroalloys]. Novokuznetsk, SibGTU Publ., 2006.



УДК 621.74

Поступила 10.04.2017

**ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ЗАКАЛКИ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТЕПЛОСТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ
4Х5МФ1С В РАЗЛИЧНЫХ ЗАГОТОВКАХ.
ЧАСТЬ 2. ВЫБОР РЕЖИМА ЗАКАЛКИ СТАЛИ 4Х5МФ1С
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТВЕРДОСТИ И ТЕПЛОСТОЙКОСТИ ПОСЛЕ ОТПУСКА
OPTIMIZATION OF TEMPERATURE HARDENING FOR IMPROVING
THE HEAT RESISTANCE OF TOOL STEEL 4X5MΦ1C IN VARIOUS
WORKPIECES.
PART 2. THE CHOICE OF THE MODE OF HARDENING STEEL 4X5MΦ1C
TO INCREASE THE HARDNESS AND HEAT RESISTANCE AFTER TEMPERING**

*В. Н. ФЕДУЛОВ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь,
пр. Независимости, 65. Тел. +37529 631 09 85*

*V. N. FEDULOV, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave.
Tel. +375 29 631 09 85*

Разработан новый режим термической обработки, включающий закалку в масле от температуры 1150 °С с использованием отпуска при температуре 500–650 °С в течение 1,5 ч. Эффект повышения уровня упрочнения и теплоустойчивости определяется более полным растворением матрицы стали, укрупнением зерен и морфологии первичных фаз структуры в результате высокотемпературного нагрева и увеличения количества вторичных фаз в результате отпуска. Результаты работы могут использоваться при производстве рабочих частей высокоресурсного инструмента для горячего формообразования.

A new mode of heat treatment, including oil quenching from temperature 1150 °C with tempering at 500–650 °C for 1,5 hours was developed. The effect of increasing the level of hardening and the heat resistance is determined by more complete dissolution of the steel matrix, the coarsening of grains and morphology of the primary phase of the structure and as a result of high temperature heating and increasing of the number of secondary phases as a result of the tempering. The results of the work could be used in production of working parts is highly resourceful tool for heat forming.

Ключевые слова. Инструментальная сталь, отливка, поковка, закалка, высокий отпуск, твердость, структура.

Keywords. Tool steel, casting, forging, hardening, high-temperature tempering, hardness, structure.

Для получения нужной формы матрицы или пуансона пресс-форм литья алюминиевых сплавов большинство используемых заготовок подвергается значительному объему механической обработки. Стоимость пресс-форм в общей сложности колеблется от 3 до 10 тыс. долл. Чтобы покрыть затраты на изготовление, необходимо повысить ресурс работы таких пресс-форм до 60 000–100 000 штук годных деталей и более. Следует найти способ термической обработки литых и кованных заготовок и химический состав сложнолегированной инструментальной стали с высоким содержанием в ее составе хрома типа 4Х5МФ1С, обеспечивающие повышение твердости и теплоустойчивости до уровня упрочнения по схеме «литье с быстрым охлаждением заготовок диаметром 33 мм + высокий отпуск», как в работе [1], а также пластичности. Режим термического упрочнения с использованием закалки в масле от 1140 °С и отпуска для стали 4Х5МФ1С, как было показано в ч. 1 настоящей статьи, таких требований не обеспечил. Для решения части проблемы пока продолжим исследования по влиянию температуры нагрева 1090 и 1150 °С при закалке полуфабрикатов из указанной стали с различным типом структуры на уровень их упрочнения у поверхности после проведения высокого отпуска при температуре 500–650 °С.

Таблица 1. Механические свойства поковки (1) и отливок с быстрым и медленным охлаждением (2, 3) диаметром 33 мм, а также поковки и отливки диаметром 63 мм (4, 5) и отливки диаметром 83 мм (6) после закалки от 1090 °С в масле и отпуска

№ п/п	Твердость HRC стали у поверхности после отпуска в течение 1,5 ч при температуре, °С				
	500	550	600	625	650
1	55	58	54–55	49–50	40–41
2	54–55	57–58	54–55	49–50	43
3	55–55,5	56–57	54–55	47–48	40–41
4	54–55	56–57	52–53	47–48	39–40
5	53	55–56	52–53	47–48	39–40
6	53	55–56	52–53	47–48	39–40

Из табл. 1 видно, что уровень упрочнения поволоков и отливок из стали 4Х5МФ1С с использованием закалки в масле от температуры нагрева 1090 °С (выдержка для заготовок диаметром 33 мм – 0,5 ч и диаметром 63–83 мм – 1 ч) и высокого отпуска выше, чем при проведении подобной закалки от 1040 °С. Однако значения твердости все же уступают уровню упрочнения с использованием выгодной технологической схемы для литой заготовки диаметром 33 мм с быстрым охлаждением на воздухе и высоким отпуском [1]. Все также не достигнуто упрочнение до уровня твердости 45 HRC после отпуска при температуре 650 °С.

И только нагрев до температуры 1150 °С и выдержка в течение 0,5 ч для заготовок диаметром 33 мм и 1 ч отливок диаметром 63 и 83 мм при закалке в масле обеспечивают получение требуемого уровня твердости стали 4Х5МФ1С на поверхности всех видов заготовок при отпуске 500–650 °С в течение 1,5 ч

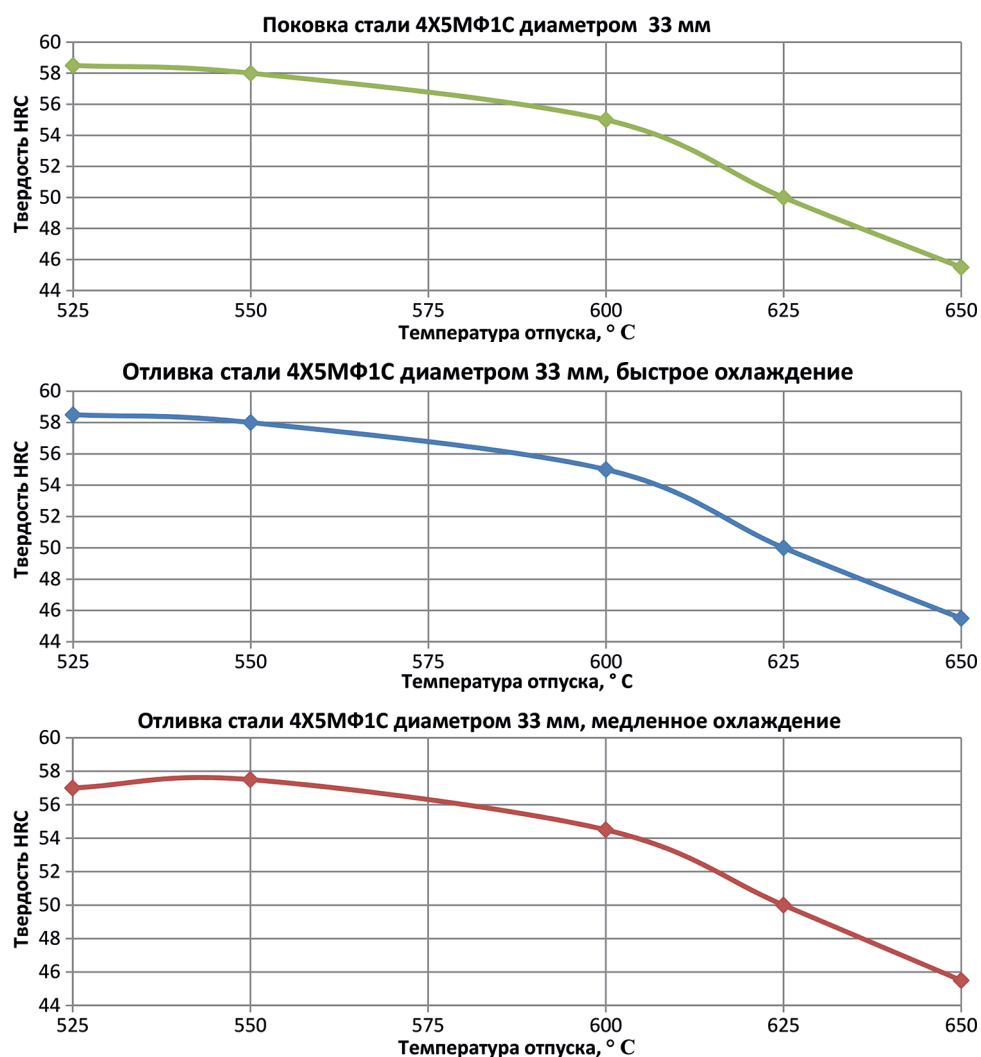


Рис. 1. Зависимость твердости у поверхности изделий из стали 4Х5МФ1С от температуры отпуска после закалки от 1150 °С в масле

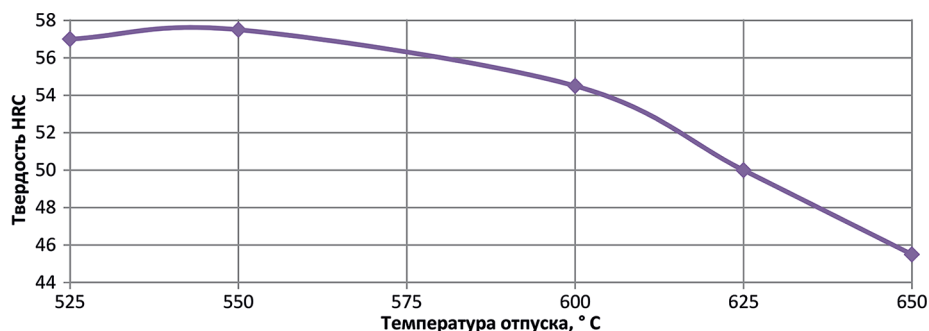


Рис. 2. Примерная зависимость твердости стали 4X5МФ1С у поверхности поковки и отливки диаметром 63 мм и отливки диаметром 83 мм от температуры отпуска после закалки от 1150 °C в масле

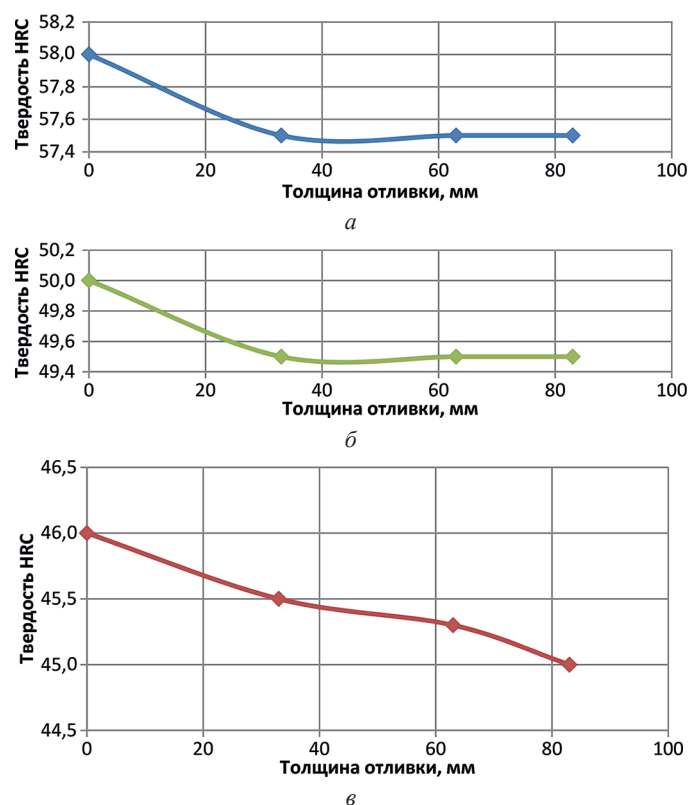


Рис. 3. Зависимость твердости у поверхности от диаметра отливки для случая закалки от температуры 1150 °C в масле и разного режима отпуска: а – для температуры отпуска 550 °C; б – 625; в – 650 °C

Таблица 2. Механические свойства полуфабрикатов диаметром 33 мм (1–3), 63 мм (4, 5) и 83 мм (6) после закалки с 1150 °C в масле и отпуска

№ п/п	Твердость HRC стали у поверхности после отпуска в течение 1,5 ч при температуре, °C				
	525	550	600	625	650
1	58–59	57,5–58	55	50	45–46
2	58	57,5–58	54–55	50	45–46
3	57–58	57,5	54–55	49–49,5	45–46
4	57	57–57,5	54–55	50	45–46
5	57	57–57,5	54–55	50–51	45–46
6	57	57–57,5	54	50	45

(табл. 2, рис. 1–3). Полученные значения те же или даже чуть выше, чем для случая упрочнения быстро охлажденной отливки диаметром 33 мм, описанного в работе [1]. По результатам проведенного термического упрочнения заготовок из стали 4X5МФ1С разных толщин и способов их получения [1] видно, что наиболее эффективным с точки зрения повышения твердости и теплостойкости является именно этот способ. Даже после отпуска при температуре 650 °C в течение 1,5 ч получена требуемая и высокая твердость у их поверхности для исследуемой стали: не менее 45 HRC.

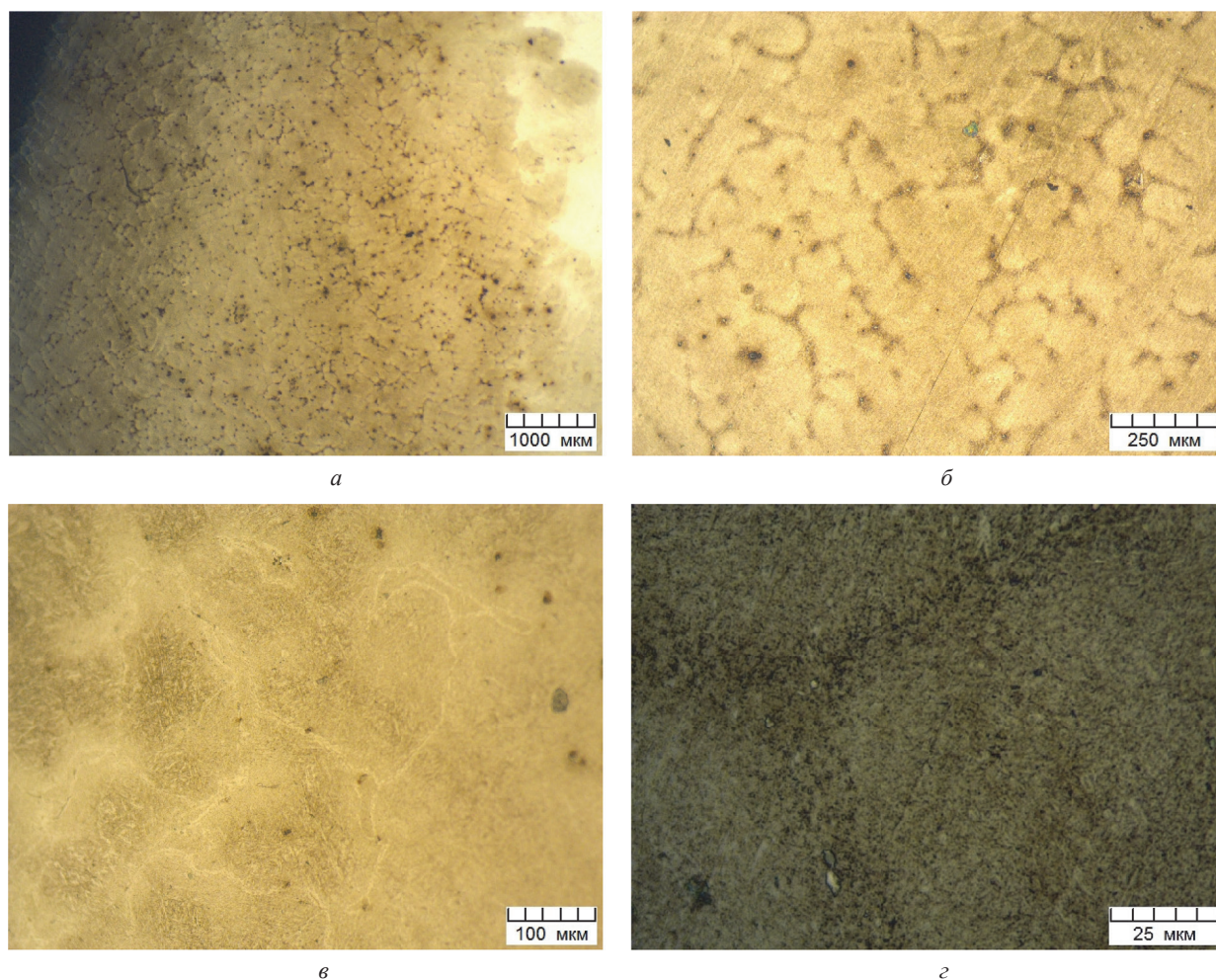


Рис. 4. Микроструктура литой стали 4X5MΦ1C у края отливки диаметром 63 мм после закалки от 1150 °C в масле и отпуска при 650 °C в течение 1,5 ч при разных увеличениях

Разработанный способ термического упрочнения, по всей видимости, обеспечивает при нагреве 1150 °C большее растворение исходной матричной структуры стали в поковках и отливках, изменение ее морфологии в результате закалки в масле и позволяет добиться большего эффекта повышения твердости при последующем отпуске. Одновременно предложенный режим нагрева при закалке должен обеспечивать выравнивание микроструктуры стали в наружных слоях литых и деформированных заготовок после отпуска и соответственно на рабочих частях матриц и пуансонов пресс-форм литья изделий из алюминиевых сплавов.

Рассмотрим более подробно микроструктуру литой стали 4X5MΦ1C для случая закалки от температуры 1150 °C в масле и отпуска при 650 °C в течение 1,5 ч для отливок диаметром 63 мм. Микроструктура литой стали 4X5MΦ1C у края отливки диаметром 63 мм показана на рис. 4. После нагрева при 1150 °C около 1 ч, закалки в масле и отпуска при температуре 650 °C в течение 1,5 ч она может быть определена, на первый взгляд, как дендритного типа (рис. 4, а, б, в). Поперечный размер дендритов составляет порядка 100–150 мкм. Эта оценка была произведена только для тех дендритов, которые имеют равноосную форму и могут рассматриваться на фотографии в поперечном сечении. Внутридендритная микроструктура упрочненной литой стали 4X5MΦ1C в первом приближении достаточно однородна (рис. 4, г, 5, а и б).

Микроструктура литой стали 4X5MΦ1C у отливки диаметром 63 мм после закалки в масле от температуры 1150 °C и отпуска при температуре 650 °C, 1,5 ч при малом увеличении (рис. 7, а), таким образом, кажется подобной таковой для случая использования закалки от 1040 °C и отпуска при 650 °C (рис. 7, б). И в то же время при большем увеличении микроструктура стали для оптимизированного случая упрочнения с закалкой от 1150 °C выглядит как более однородная по сечению и с четко выраженными границами вновь образовавшихся аустенитных зерен и в дендритах, и междендритном пространстве (см. рис. 5, а, по сравнению с рис. 5, б). Одновременно в микроструктуре наблюдаем и более крупные выделения мар-

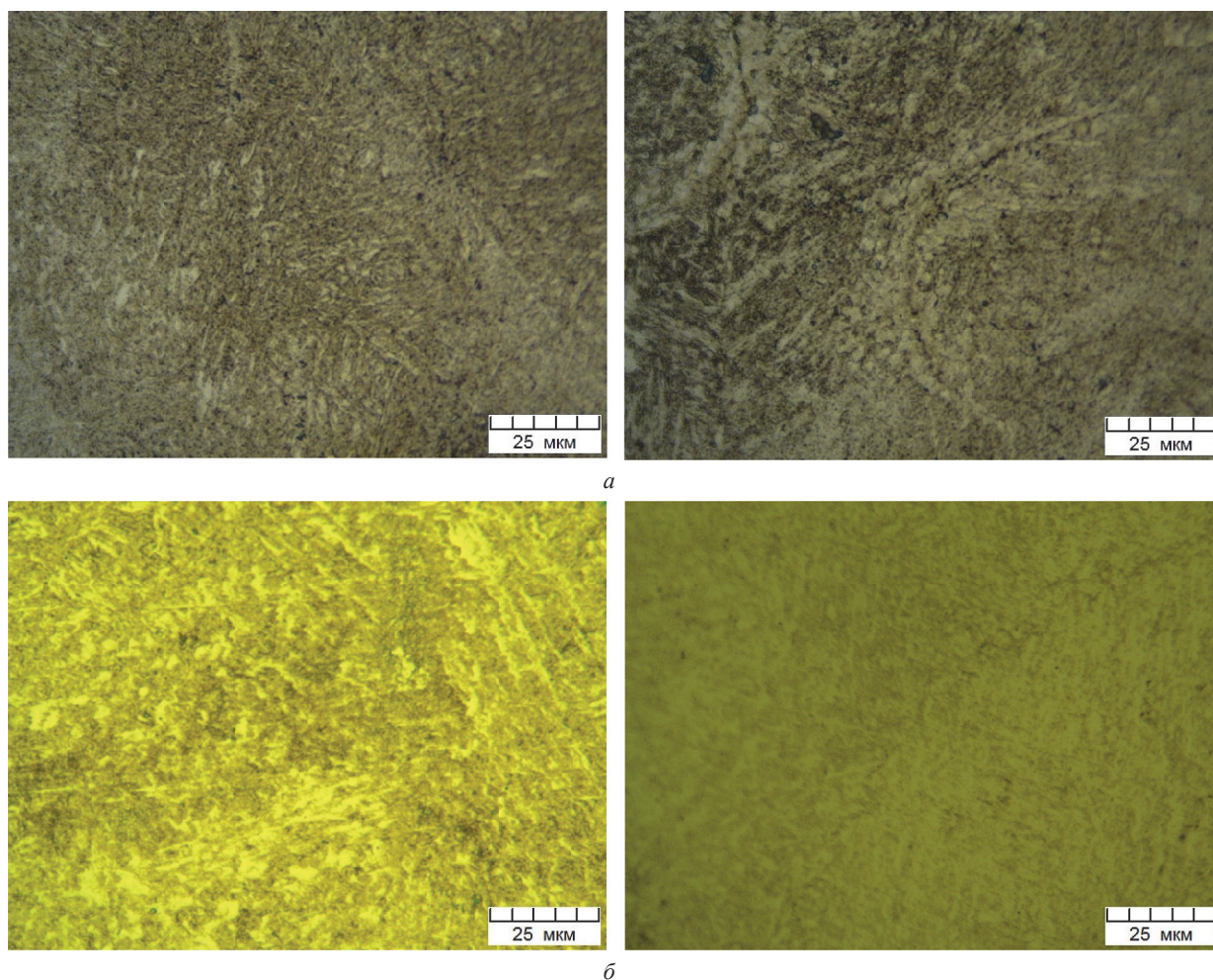


Рис. 5. Микроструктура литой стали 4X5МФ1С у отливки диаметром 63 мм после закалки от температуры 1150 °С (а) и 1040 °С (б) в масле и отпуска при температуре 650 °С, 1,5 ч

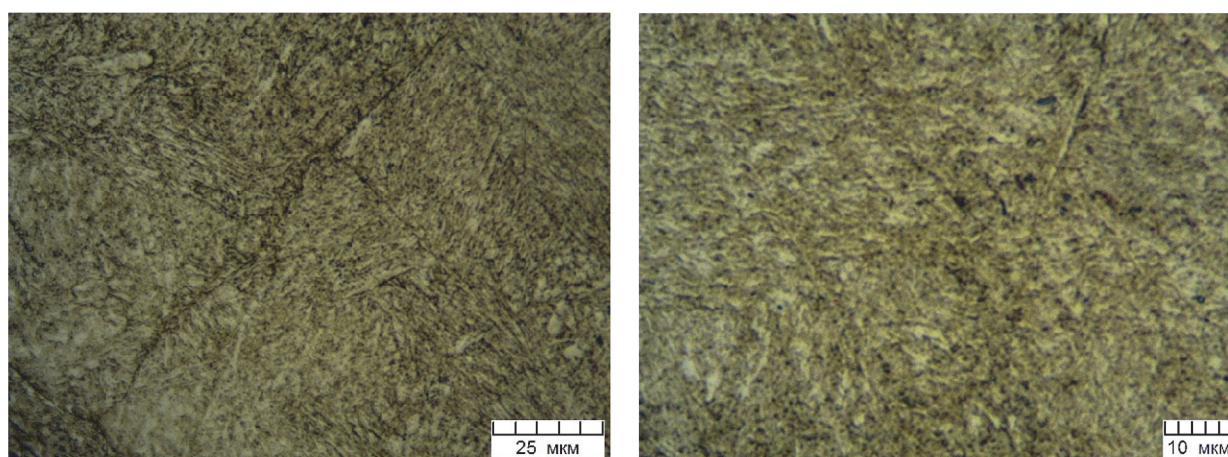


Рис. 6. Мартенсит отпуска в микроструктуре литой стали 4X5МФ1С у края отливки диаметром 63 мм после закалки в масле от температуры 1150 °С и отпуска при температуре 650 °С, 1,5 ч

тенсита отпуска (см. рис. 6) и отсутствие перлитных выделений, чем в случае нагрева при закалке в масле 1040 °С.

Наиболее интересно наблюдение микроструктуры стали 4X5МФ1С у поковки после проведения закалки с нагревом при 1040 и 1150 °С (рис. 8), так как в практике изготовления пресс-форм до настоящего времени применяют только кованные заготовки. Различие микроструктуры стали в поковке после проведения закалки от 1040 °С в масле и отпуска при 650 °С, 1,5 ч (рис. 8, а, в) и соответственно после закалки от 1150 °С и отпуска при 650 °С, 1,5 ч (рис. 8, б, г) хорошо видно: в последнем случае в ней отсут-

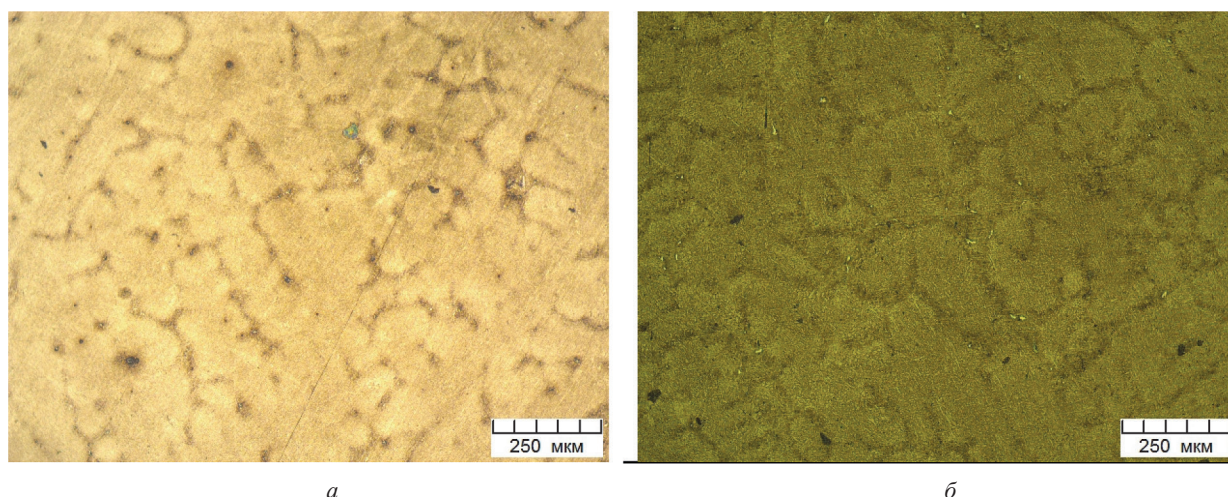


Рис. 7. Сравнение дендритной микроструктуры литой стали 4X5MΦ1C отливки диаметром 63 мм после закалки в масле от температуры 1150 °C (а) и 1040 °C (б) и отпуска при температуре 650 °C, 1,5 ч

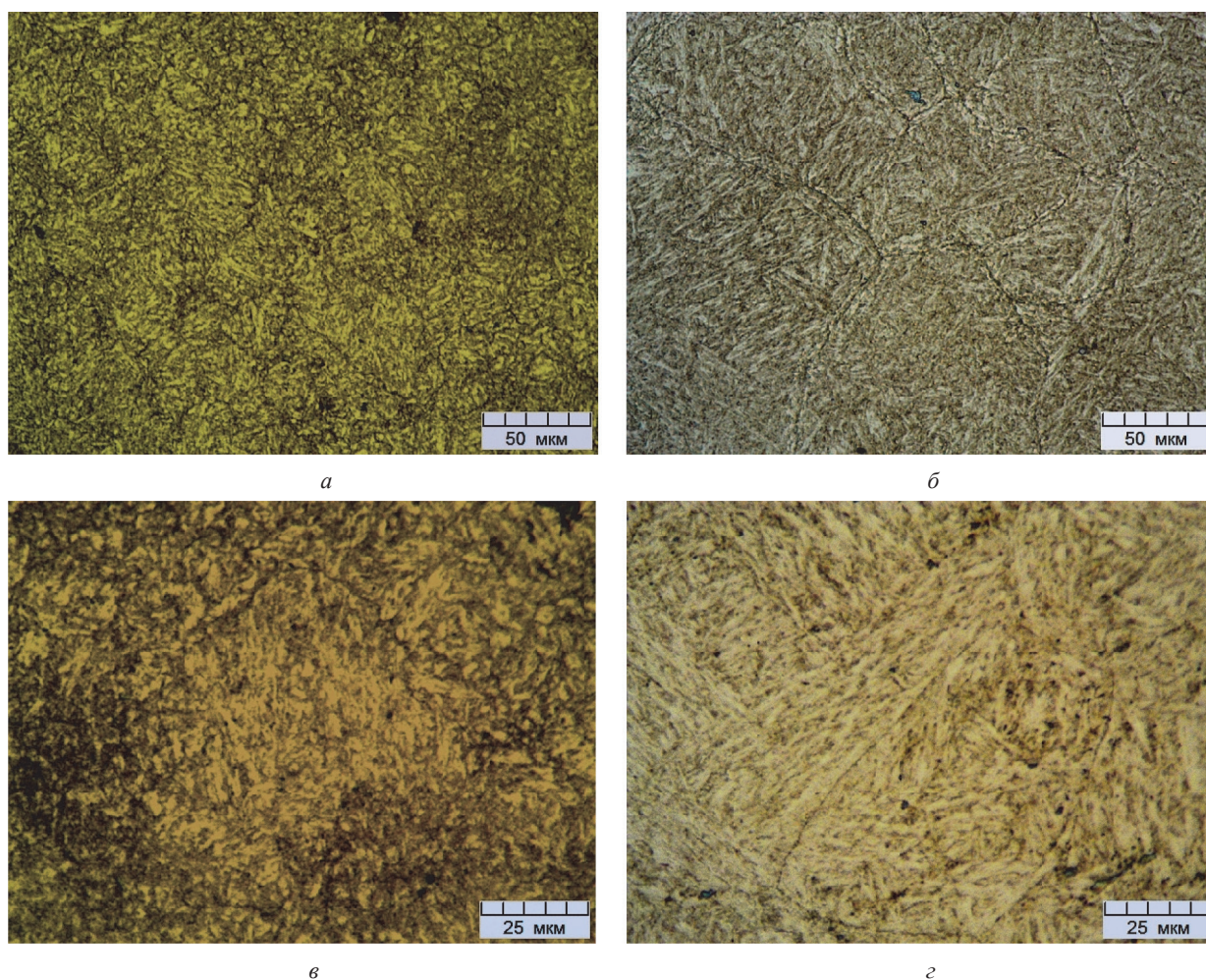
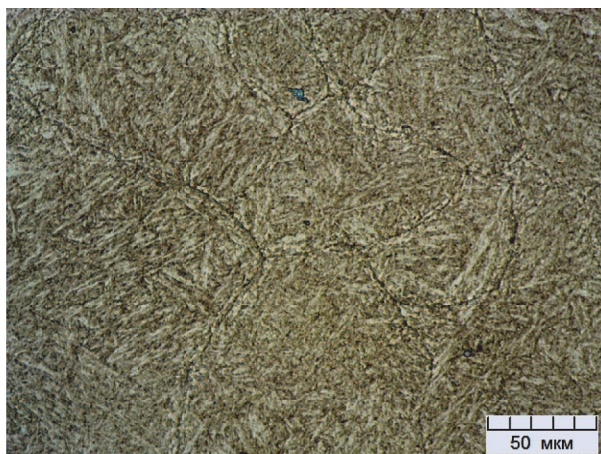


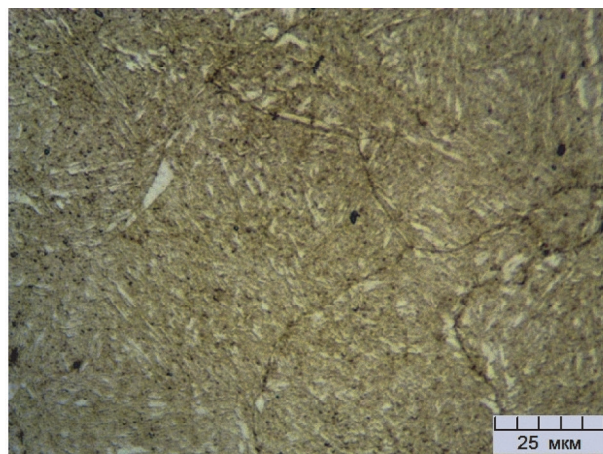
Рис. 8. Сравнение микроструктуры стали 4X5MΦ1C у поковки диаметром 63 мм после закалки в масле от 1040 °C (а, б) и 1150 °C (в, г) и отпуска при температуре 650 °C, 1,5 ч

ствуют перлитоподобные фазы (рис. 9). Именно за счет более крупной морфологии мартенсита отпуска и отсутствия перлитоподобных выделений в структуре стали 4X5MΦ1C в поковке после закалки в масле от 1150 °C и отпуска 650 °C стало возможным повысить твердость стали на поверхности заготовок до значений 45 HRC вместо 39–40 HRC.

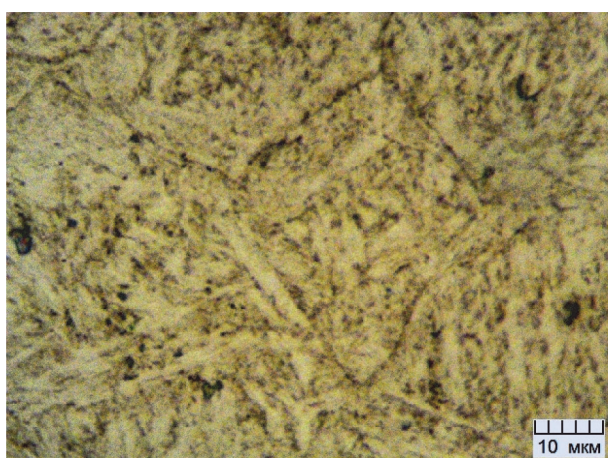
Сталь 4X5MΦ1C у поковки после закалки от 1150 °C по сравнению с отливкой из этой же стали имеет более крупную микроструктуру: крупнее и зерно, и морфология выделений мартенсита отпуска, когда



a



б



в

Рис. 9. Внутризеренная микроструктура и мартенсит отпуска стали 4X5MΦ1C у края поковки диаметром 63 мм после закалки в масле от 1150 °C и отпуска при 650 °C, 1,5 ч

наблюдается более толстая и короткая их форма на рис. 8, б, г и рис. 9 по сравнению с рис. 6, хотя значения твердости для обоих случаев примерно равны при всех режимах отпуска.

Таким образом, показано, что упрочнение заготовок из стали 4X5MΦ1C с применением закалки в масле, например, для деталей пресс-форм литья алюминиевых сплавов лучше проводить с нагревом при температуре 1150 °C в течение 0,5–1 ч в зависимости от толщины их сечения. Закалка с таким нагревом обеспечивает получение выигрыша в твердости и соответственно в теплостойкости. Температуру отпуска после закалки для деталей пресс-форм необходимо назначать в пределах 600–650 °C в течение 1,5–2 ч исходя из условий сложности их конфигурации. Более сложная форма алюминиевой отливки, получаемой с использованием пресс-формы, из-за большего разогрева рабочих частей во время эксплуатации будет требовать более высокой температуры собственно отпуска матрицы и пуансона.

Способ получения заготовок для рабочих частей пресс-форм: поковку или отливку следует выбирать также исходя из сложности конструкции их рабочих частей и необходимости выбора ресурса работы. Для простых деталей матриц или пуансонов лучше использовать поковки, а для деталей более сложных конструкций – отливать заготовки из отходов инструментальных сталей. Для повышения пластичности и ударной вязкости стали 4X5MΦ1C или подобной стали 4X5MΦC в их состав можно вводить дополнительно никель в количестве 1,5–2,0% и тогда содержание углерода доводить до 0,45–0,52% для повышения твердости при отпуске [2]. При производстве отливок из сложнолегированных инструментальных сталей лучше использовать более прочные керамические формы. Также возможно отливать заготовки из таких сталей и в песчаные или другие формы, если их конструкция весьма простая или после литья используется, например, их перековка.

Из рис. 3 и табл. 2 видно, что вполне возможно и термическое упрочнение деталей переменного сечения из сталей типа 4X5MΦ1C с использованием закалки в масле от температуры 1150 °C, когда на поверхности обеспечивается практически одинаковая твердость при наличии толщины сечения 33, 63 и 83 мм. Необходимо только правильно подобрать время нахождения деталей в печи при температуре закалки,

чтобы избежать перегрева более тонких сечений. Можно использовать нанесение соответствующего слоя защитной обмазки на более тонкие сечения при проведении высокотемпературного нагрева.

Микроструктура стали после проведения закалки в масле от температуры 1150 °С и отпуска в достаточной степени однородна и пригодна при использовании в качестве матриц и пуансонов пресс-форм литья изделий из алюминиевых сплавов. Для повышения ресурса работы также возможно проведение дополнительного диффузионного карбонитрирования в обмазке при температуре 520 °С рабочих поверхностей после отпуска матриц и пуансонов. Составы обмазок для такого поверхностного упрочнения уже разработаны [3].

Выводы

1. Разработан новый оптимизированный режим термической обработки, включающий закалку в масле от температуры 1150 °С и отпуск при температуре 500–650 °С в течение 1,5–2,0 ч и позволяющий в достаточной степени повысить уровень упрочнения сталей типа 4Х5МФ1С в литых и кованных заготовках сечением до 83 мм и более. Этот режим может быть использован и для термического упрочнения деталей из стали 4Х5МФС.

2. Эффект повышения уровня упрочнения вызван более полным растворением исходной матрицы стали в результате высокотемпературного нагрева при 1150 °С по сравнению с общепринятым нагревом при 1040 °С, особенно у поверхности, укрупнения зерен и морфологии выделившихся первичных фаз структуры при закалке и увеличения количества вторичных фаз в результате отпуска, не наблюдаемое на фотографиях.

3. Разработанный режим термического упрочнения можно использовать и при термической обработке деталей переменного сечения с необходимой доработкой схемы проведения для каждого конкретного случая.

4. Результаты работы могут использоваться при производстве рабочих частей инструмента для горячего формообразования повышенного ресурса эксплуатации.

Литература

1. Федулов В. Н. Влияние условий охлаждения и размера заготовки при литье инструментальной стали на способность к последующему термическому упрочнению поверхности // Литье и металлургия. 2016. № 3. С. 117–127.
2. Федулов В. Н. Инструментальная сталь. Заявка на патент, №а 20160501 от 29.12. 2016 г. Заявитель БНТУ. 5 с.
3. Федулов В. Н. Обмазка для диффузионного карбонитрирования стальных изделий. Заявка на патент, № а 20160204 от 03.06. 2016 г. Заявитель БНТУ. 6 с.

References

1. Fedulov V. N. Vlijanie uslovij ohlazhdenija i razmera zagotovki pri lit'e instrumental'noj stali na sposobnost' k posledujushhemu termicheskomu uprochneniju poverhnosti [Influence of cooling conditions and the size of stock material during the casting of tool steel on capability to the subsequent thermal hard-facing]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2016, no. 3, pp. 117–127.
2. Fedulov V. N. *Instrumental'naja stal'* [Tool steel]. Patent RB, no. 20160501, 2016.
3. Fedulov V. N. *Obmazka dlja diffuzionnogo karbonitrirovaniya stal'nyh izdelij* [Coating for diffusion carbonitriding of steel products]. Patent RB, no. 20160204, 2016.



УДК 621.9.048.6

Поступила 16.05.2017

ФОРМИРОВАНИЕ ОКСИДНОЙ ПЛЕНКИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВИБРОВОЛНОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИМЕРНЫХ РАБОЧИХ СРЕД

THE FORMATION OF THE OXIDE FILM DUE TO WAVE VIBRATION IMPACT IN POLYMERIC OPERATING ENVIRONMENTS

В. В. ИВАНОВ, Я. Н. ДЖАНКОВА, А. Н. ЛЕГКОНОГИХ, Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1. E-mail: yana_dzhankova@mail.ru

V. V. IVANOV, Ya. N. DZHANKOVA, A. N. LEGKONOGICH, Don State Technical University, Rostov-on-Don city, 1, Gagarin sq. E-mail: yana_dzhankova@mail.ru.

Проведены исследования по совмещению вибрационной обработки и оксидирования в полиэтиленовых средах, что позволило совместить три технологических этапа. Определены характерные следы и показана профилограмма отпечатка прямого и косого удара рабочей среды оксидной пленки толщиной 1 мкм.

Investigation on combining vibration treatment and oxidation in polymeric operating environment have been made. This process gave the opportunity to combine three technological stages. The traces of straight and oblique impact were defined on the metal with the 1 mkm oxide film. A profilogram of the marks of the straight and oblique impacts is shown in the paper.

Ключевые слова. Вибрационная обработка, комбинированные покрытия, совмещенный процесс оксидирования и вибрационной обработки, поверхностный слой металла, полимерные рабочие среды.

Keywords. Vibration treatment, combined coatings, combined process of oxidation and vibration treatment, the surface layer of the metal, polymeric operating environments.

В настоящей статье сделана попытка выяснить механизм образования оксидной пленки при комбинировании метода вибрационной обработки и оксидирования. В основу изучения механизма формирования оксидной пленки положена методика определения характера расположения, размеров, глубины и формы следов обработки при работе в среде полиэтиленовых шаров в процессе оксидирования и без оксидирующего раствора и установления качества пленки, общего вида поверхности с помощью оптических и электронно-микроскопических методов исследований.

В работах А. П. Бабичева (Основы вибрационной технологии. Ч. 1. Ростов-на-Дону, 1993. Ч. 2. Ростов-на-Дону, 1994), В. П. Устинова (Вибрационная отделка в стальных средах. 1969. Вып. 2) приведены данные о формировании поверхностного слоя в процессе вибрационной обработки в среде металлических тел. Эти процессы сопровождаются пластическим деформированием поверхностных слоев металла в условиях многократного динамического контакта частиц рабочей среды с деталью.

При комбинировании метода вибрационной обработки и оксидирования взаимодействие полимерной рабочей среды (полиэтиленовых шаров) и поверхностного слоя обрабатываемого материала осуществляется через прослойку образующейся оксидной пленки и раствора, находящихся в зоне контакта. Согласно теории химического оксидирования, образование оксидной пленки, ее рост являются результатом взаимодействия металла с рабочим раствором, которое осуществляется через поры пленки, образующейся в процессе оксидирования.

В процессе вибрационной обработки частицы рабочей среды наносят удары по обрабатываемой поверхности. В зоне контакта возникают напряжения, обеспечивающие пластическую деформацию, что приводит к увеличению дислокаций и образованию активных дислокационно-вакансионных центров. Под воздействием циркулирующей рабочей среды и деталей образуется сравнительно равномерный слой пластически деформированного активного металла.

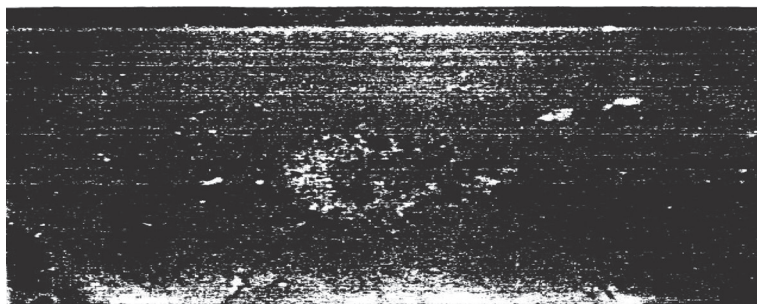


Рис. 1. Характерные следы прямого и косого удара шара по поверхности металла с оксидной пленкой толщиной 1 мкм



Рис. 2. Профилограмма отпечатка прямого удара шара



Рис. 3. Профилограмма отпечатка косого удара шара

Увеличение внутренней энергии поверхностных слоев металла в результате пластической деформации приводит к повышению адсорбционной активности металлической поверхности.

Скорость химических реакций зависит от числа активных молекул. Об активации молекул свидетельствует увеличение толщины оксидной пленки, полученной при вибрационной обработке 4,5–5,0 мкм (без вибрационной обработки 3,0–3,5 мкм). Вибрационная обработка сообщает ионам дополнительную энергию, необходимую для преодоления увеличивающегося расстояния между металлом и растущей оксидной пленкой.

Таким образом, последовательное нанесение большого числа микроударов частиц рабочей среды при их взаимном соударении и скольжении приводит к повышению химической активности не только металлической поверхности, но и молекул оксидирующего раствора.

Характерный след от удара шара о поверхность оксидированной детали показан на рис. 1. Визуальный анализ фотоснимка дает основание считать, что при ударе шара деформация направлена в глубь образца. Это же подтверждается и профилограммой отпечатка, где видны незначительные навалы по краям лунки (рис. 2) в сторону проекции вектора скорости шара (рис. 3).

Вибрирующая среда, контактируя с поверхностью растущей оксидной пленки, разрыхляет ее, чем облегчает доступ оксидирующего раствора к поверхности металла. Реакционная способность раствора усиливается за счет активации составляющих его компонентов.

Интенсивность протекающих процессов отмечается не только в реакционной зоне, но и в зоне непосредственного контакта. Под воздействием нормальных и тангенциальных сил поверхностный слой оксидной пленки деформируется как за счет воздействия шаров, так и за счет вибрирующего раствора.

И. А. Одинг к сдвиговым процессам пластической деформации относит механизм скольжения, проявляющийся в перемещении одной части зерна по отношению к другой. Внешнее проявление этого перемещения выражается образованием на поверхности металла полос скольжения.

Полученная структура алюминия АД1 до и после обработки показывает изменение зерен, уменьшение размера и вытягивание их параллельно плоскости обработки зерен алюминия. Визуальный анализ показывает, что на исследуемой поверхности имеется большое число беспорядочно расположенных следов обработки – выступов и впадин. Видны множество следов, полученных от ударов шаров, направленных под углом к поверхности, что свидетельствует о скользящем ударе, вызывающем сдвиг и хрупкое разрушение материала.

При рассмотрении фотоснимков поверхности образцов, обработанных в течение 5 мин, отмечается неоднородность обработанной поверхности, которая представляет собой пересечение исходных шероховатостей со следами обработки. Различаются полированные участки поверхности и участки со следами разрушения. Поверхность покрыта кратерами – впадинами различного типа.

Съем металла во времени протекает нелинейно. В начале обработки протекает инкубационный период, в течение которого заметной потери массы не наблюдается. Как показали исследования, в этот период образуются вмятины-отпечатки, происходит накопление скрытой энергии разрушения, охрупчивание поверхностных слоев обрабатываемого материала. При рассмотрении следов видно, что отдельные шары при столкновении с обрабатываемой поверхностью оставляют на ней прерывистый след, состоя-

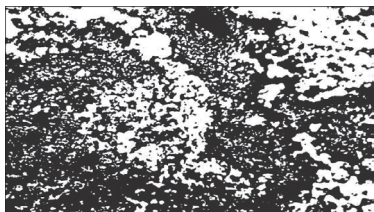


Рис. 4. Вид оксидного покрытия, полученного в процессе вибрационной обработки

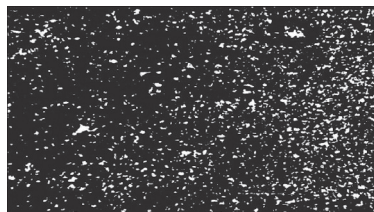


Рис. 5. Вид оксидного покрытия, полученного традиционным способом

ший из более мелких следов, обусловленных характером движения шаров. При таком перекрестном характере расположения рассмотренных следов обработки образуется своеобразный микрорельеф.

Анализируя полученные результаты, можно отметить, что при вибрационной обработке в среде полиэтиленовых шаров на поверхности образуются следы кратерообразного типа, являющиеся следствием прямого удара; следы удлиненной формы, образующиеся в результате скольжения шара относительно обработанной поверхности, и следы смешанного типа, являющиеся следствием как скольжения, так и прямого соударения.

Большое число обработанных следов, покрывающих почти всю поверхность образца, указывает на протекание процессов пластического деформирования на микроуровне и разрыхления поверхностного слоя.

Многочисленными исследованиями установлено наличие пластического течения материала в тонком поверхностном слое образца по ходу движения отдельной гранулы. При прямом ударе шара деформация направлена в глубь образца. Большинство следов свойственны ударам шаров, направленным под углом к поверхности, которые вызывают хрупкое разрушение оксида и сдвиг отдельных частиц. Такое разрушение поверхности позволяет взрыхлять слой оксида с образованием мелкодисперсных частиц, часть из которых схватывается своими ювенильными поверхностями с оксидом, иногда попадая в поры и уменьшая их объем, частично уносится оксидирующим раствором, частично уплотняется последующими ударами шаров и приобретает полированный вид.

Первоначальный контакт шара происходит по вершинам микронеровностей. В процессе обработки увеличивается площадь контакта покрытия с поверхностью в результате закругления радиуса выступов. На профилограмме шлифованной поверхности, записанной после обработки в полиэтиленовых шарах и после совмещения с оксидированием, видно, что в результате деформирования гребешков микронеровностей под воздействием ударов шаров происходит снижение шероховатости и увеличение радиуса закругления вершин выступов.

Следовательно, в результате вибрационной обработки оксидная пленка разрыхляется и сглаживается в процессе ее роста.

В зоне контакта благодаря скользящим ударам шаров частицы оксидной пленки ориентируются параллельно обрабатываемой поверхности, о чем свидетельствуют блестящие участки на поверхности покрытия (рис. 4).

На рисунке показан вид поверхности оксидного покрытия, полученного при вибрационной обработке. Следует отметить, что более 50% поверхности покрытия, полученного в результате виброобработки, имеет ориентацию частиц параллельно плоскости скольжения.

Для сравнения на рис. 5 представлена микрофотография оксидной пленки, полученной стандартным способом. Анализируя снимки, можно сделать вывод, что при нанесении покрытия в стационарных ваннах, т. е. без приложения нагрузки, зерна гидроксида имеют беспорядочную ориентацию, а полученные в процессе вибрационной обработки ориентированы параллельно плоскости скольжения.

Выводы

Вибрационная обработка в среде полиэтиленовых шаров позволяет совместить три технологических этапа:

- 1) подготовку поверхности под покрытие – очистку от загрязнений и оксидов; активацию поверхностного слоя в результате пластического деформирования и увеличения плотности дислокаций поверхностных слоев, образование ювенильных поверхностей; увеличение площади контакта;
- 2) получение оксидной пленки;
- 3) отделку поверхности; создание определенного микрорельефа, повышение отражательной способности и качества поверхностного слоя.



УДК 669.18

Поступила 01.08.2017

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОПЛАТЫ ТРУДА ПЕРСОНАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ НА БАЗЕ КРІ

IMPROVING THE SYSTEM OF REMUNERATION OF PERSONNEL OF THE ENTERPRISE ON THE BASIS OF KPI

С. М. КЛИМКОВИЧ, Е. В. КОРНЕЕВЕЦ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»,
г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: ksm.onot@bmz.gomel.by

S. M. KLIMKOVICH, E. V. KORNEEVETS, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC»,
Zhlobin City, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: ksm.onot@bmz.gomel.by

Рассматриваются преимущества системы премирования персонала по ключевым показателям эффективности. Приводится структура формирования мотивации на базе КРІ (ключевые показатели эффективности деятельности). Сформулированы основные задачи при построении премирования на базе КРІ. Обосновано применение ключевых показателей эффективности на предприятии. Предложена схема построения системы мотивации персонала по КРІ.

The advantages of the system of awarding of staff on key performance indicators are considered. The structure of formation of motivation on the basis of KPI. The main tasks when building a bonus system on the basis of KPI. Justification the use of key performance indicators in the enterprise is made. The scheme of construction of system of motivation of personnel KPI is proposed.

Ключевые слова. Персонал, управление персоналом, ключевые показатели эффективности, премирование персонала, мотивация персонала.

Keywords. Personnel, personnel management, key performance indicators, bonuses for personnel, motivation of staff.

В условиях функционирования новых механизмов хозяйствования, ориентированных на рыночную экономику, особое значение приобретает вклад каждого работника в конечные результаты деятельности предприятия. Поэтому одной из главных задач предприятий различных форм собственности является поиск новых способов управления персоналом и формирование такой системы мотивации труда, которая способна повысить эффективность производства за счет развития и разумного использования сил и возможностей работника.

Наиболее прогрессивной и эффективной формой мотивации при решении задач управления компанией является система, основанная на использовании КРІ (ключевых показателей эффективности деятельности). Их использование дает организации возможность оценить свое состояние и помочь в оценке реализации стратегии. КРІ позволяет производить контроль деловой активности сотрудников и предприятия в реальном времени.

Ключевые показатели эффективности (КРІ) – это система оценки, позволяющая организациям определить стратегические и тактические цели. Другими словами, это инструмент измерения поставленных целей. Правильное формирование системы КРІ позволяет определить, в каком процессе возникла проблема. Система КРІ может быть внедрена практически во всех отраслях, главное – правильно определить показатели оценки.

Формирование мотивации на базе КРІ состоит из трех основных частей: постоянной (константной) части, переменной части, а также нерегулярных премий (рисунок).

Постоянная часть заработной платы – оклад. Оклад – это базовый должностной оклад (ставка), который выплачивается сотруднику за должностное соответствие и выполнение сотрудником своих функциональных обязанностей. Оклад выплачивается согласно соответствию сотрудника определенному грейду по системе грейдирования, принятому на предприятии.



Структура формирования мотивации на базе KPI

Переменная часть – это часть денежного вознаграждения, которая выполняет роль четкой привязки мотивации сотрудников к результатам их деятельности через KPI. При этом под результатом понимается достижение как количественных, так и качественных показателей по KPI. Соотношение между постоянной и переменной частями (базовым окладом и премией) различается в зависимости от позиции сотрудника и принадлежности тому или иному подразделению или бизнес-процессу. Переменная часть выплачивается за достижение результатов по KPI и включает в себя:

- ежемесячные премии за достижения KPI, которые можно и важно определять каждый месяц, и в соответствии с достижением начислять премию;
- ежеквартальные премии за достижения KPI, которые можно и важно определять только раз в квартал и в соответствии с достижением начислять премию;
- полугодовые и годовые премии за достижения KPI, которые определяют только раз в полгода или в год, и в соответствии с достижением KPI начисляют премию.

Исследуем внедрение KPI на примере ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК».

В настоящее время одной из задач, стоящей перед предприятием, является реформирование существующей на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» системы оплаты труда персонала.

Для достижения поставленной цели проводится анализ существующей системы оплаты труда и совершенствуется система премирования персонала по ключевым показателям эффективности (KPI). Необходимо установить цели для руководителей, связанные с целями предприятия, чтобы довести целеполагание до каждого исполнителя и, тем самым, обеспечить общую направленность и согласованность действий сотрудников. Другими словами, это нужно для построения действенной системы управления. Нет ничего хуже деятельности, не имеющей цели и смысла. Поэтому наличие ясно определенных, измеримых, понятных людям целей поддерживает у них некоторый уровень мотивации к труду. KPI не создают мотивацию (ее нельзя создать внешними стимулами), а предотвращают демотивацию.

На ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» оплата труда персонала производится в соответствии с установленными окладами на основе единой тарифной сетки работников Республики Беларусь (постоянная часть заработной платы). Кроме установленного должностного оклада, внедрены ключевые показатели эффективности, когда размер вознаграждения руководителей и сотрудников напрямую зависит от результатов их деятельности. Для руководителей предприятия установлены три ключевых показателя эффективности (см. таблицу).

Связь целей с ключевыми показателями эффективности

Цели предприятия на 2017 г.	Ключевые показатели эффективности
Рентабельность продаж в промышленности, не менее 1,9%	Выполнение плана по рентабельности продаж
Темп роста экспорта товаров к соответствующему периоду 2016 г., не менее 114%	Выполнение плана по темпу роста экспорта товаров к соответствующему периоду 2016 г.
Снижение уровня затрат на производство продукции, работ, услуг, не менее 1,6%	Выполнение задания по снижению затрат на производство и реализацию продукции (работ, услуг) за квартал, с нарастающим итогом с начала года в целом по предприятию

Для установления связи показателей KPI с вознаграждением руководителей необходимо установить «вес» каждого показателя, определяющий степень его влияния на вознаграждение. Определить правила начисления премии в зависимости от достигнутых результатов.

На ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» весовые коэффициенты для каждого показателя установлены в размере 10% при ежемесячной выплате вознаграждения и в размере 25% при квартальной выплате вознаграждения. Кроме основных показателей премирования, существуют условия выплаты премии (не превышение допустимого уровня брака, расходного коэффициента при произ-

водстве продукции, наличие претензий к качеству продукции от потребителя и т. п.), а также перечень упущений в работе (трудовая и исполнительская дисциплина, выполнение требований охраны труда, соблюдение технологии при производстве продукции и т. п.), при невыполнении которых премия снижается.

Таким образом, изначально идет привязка вознаграждения к результатам выполнения глобальных целей и задач предприятия. Приоритеты зависят от стратегии. При другой стратегии могут быть другие показатели и другие значения удельного веса.

Конкретный размер производственной премии по подразделениям завода устанавливается решением балансовой комиссии.

Чтобы не возникало ситуации, когда часть показателей находится на недопустимо низком уровне, а премия все равно выплачивается за счет высокого уровня других показателей, применяется правило обнуления премии в случае, когда хотя бы один показатель оказался ниже допустимого уровня.

Использование КРІ имеет много общего с обычным плановым подходом, но с одним серьезным отличием: показатели работы каждого отдельного сотрудника привязывают к общим КРІ всего предприятия (таким, как прибыль, рентабельность).

Выводы

Для разработки эффективной системы мотивации персонала на базе КРІ необходимо на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» внедрять показатели эффективности, дающие возможность оценки и анализа влияния каждого подразделения (отдела, сотрудника) на эти цели. При соблюдении данных условий система премирования становится динамичной, гибкой, позволяющей руководителю оперативно вносить коррективы при изменении стратегических целей и стратегии предприятия.



УДК 669.112

Поступила 18.08.2017

СНИЖЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ЗА СЧЕТ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ**DECREASE IN LABOR INPUT OF PRODUCTION DUE TO RATIONAL USE OF A MANPOWER**

Е. В. КОРНЕЕВЕЦ, А. В. БУРЧАК, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: bot.mic@bmz.gomel.by

E. V. KORNEEVETS, A. V. BURCHAK, OJSC «BSW» – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin City, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: bot.mic@bmz.gomel.by

Рассматривается показатель трудоемкости. Приводится связь трудоемкости и производительности труда. Сформулированы основные факторы снижения трудоемкости. Обоснована необходимость постоянного снижения трудоемкости. Предложены варианты организационно-технических мероприятий, позволяющие снизить трудоемкость изготовления продукции, на примере сталепроволочных цехов ОАО «Белорусский металлургический завод – управляющая компания холдинга «БМК».

The indicator of labor input is considered. Connection of labor input and labor productivity is given. Major factors of decrease in labor input are formulated. Necessity of continuous decrease in labor input is proved. Options of organizational – technical actions to reduce labor input on an example the steel-wire shops of OJSC «BSW» – Management Company of Holding «BMC» are offered.

Ключевые слова. Организация труда, производительность труда, трудоёмкость, трудозатраты, снижение трудоёмкости, персонал, управление персоналом.

Keywords. Labor management, labor productivity, labor input, labor costs, decrease in labor input, personnel, personnel management.

Социально-экономическое развитие страны связано с решением различных проблем, и не на последнем месте среди них – обеспечение устойчивого темпа роста производительности труда, и, как следствие, снижение трудоемкости изготовления продукции как показателя, обратного показателю производительности труда.

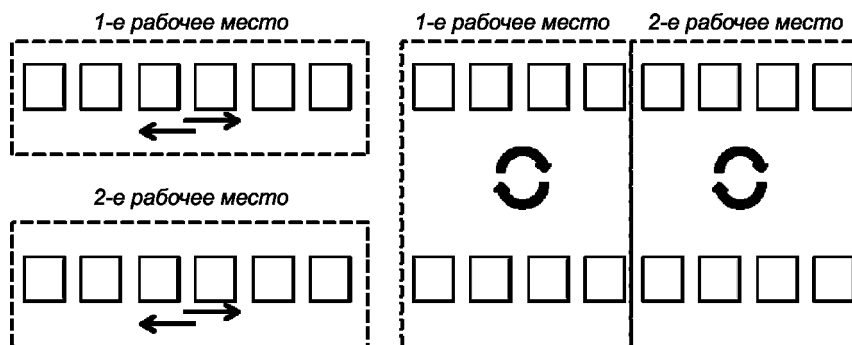
Трудоемкость – это затраты времени работы на единицу продукции, выраженную в стоимостной или натуральной форме. Как правило, трудоемкость измеряется в нормо-часах, т. е. часах, затраченных на производство. Трудоемкость определяет эффективность использования рабочей силы – одного из главных производственных ресурсов.

Снижение трудоемкости продукции является одним из важнейших факторов повышения производительности труда. Достигнуть снижения трудоемкости можно различными путями:

- 1) механизация и автоматизация процессов производства;
- 2) разработка или применение новых высокопроизводительных технологий;
- 3) замена или модернизация физически- или морально-устаревшего оборудования;
- 4) переход к крупносерийному производству и т. д.

Однако мероприятия, направленные только на совершенствование применяемого оборудования или технологии, могут не оправдать ожиданий. Нередко предприятия приобретают или берут в аренду дорогостоящее оборудование, даже не подготовившись к его использованию, а в результате коэффициент использования такого оборудования очень низок и затраченные средства не приносят ожидаемого результата. Поэтому нельзя исключать факторы снижения трудоемкости производства, связанные с предметом труда, такие, как:

- рациональная организация труда на рабочих местах;



Рабочие места и схема движения персонала при обслуживании оборудования до и после изменения

- создание условий для бесперебойной работы;
- постоянное обновление и пересмотр норм времени;
- обучение и повышение квалификации персонала;
- совершенствование оплаты труда, материального и морального стимулирования;
- улучшение условий труда, режимов труда и отдыха и т. д.

На ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» с целью снижения трудоемкости изготовления продукции используют различные резервы, связанные как с обновлением основных производственных фондов, внедрением новых технологий, автоматизацией труда, так и резервы, связанные с трудовыми ресурсами.

Например, в сталепроволочных цехах, где применяется труд сдельщиков, в 2016 г. действовало 1762 нормы времени на изготовление продукции, из которых 146 было пересмотрено и 147 введено вновь. В результате только на обновлении и пересмотре норм времени снижение трудоемкости составило около 2%. Такая работа проводится каждый год: ежемесячно анализируется выполнение норм по участку, бригаде или отдельными работниками и таким образом выявляются нормы, которые морально устарели либо ошибочно установлены. Ошибочно установленные нормы пересматриваются сразу по мере их выявления (как правило, среди вновь введенных норм), морально устаревшие – в сроки, предусмотренные календарным планом пересмотра норм. Моральное устаревание норм связано как с модернизацией оборудования, так и с повышением квалификации персонала.

Повысить нормы обслуживания оборудования позволило изменение схемы организации рабочих мест на отдельных участках цехов (участок тонкого волочения, канатные участки), когда расстановку персонала по рабочим местам начали производить не вдоль ряда машин, а между рядами (см. рисунок). Во избежание ситуации, когда один рабочий будет занят изготовлением нескольких типов продукции, требования к которой может быть разное, настройку оборудования изменили аналогичным образом. Такая схема рабочего места позволила изменить норму обслуживания, например, на участке тонкого волочения, с 8–10 до 10–12 станов. Кроме того, рабочее место стало более «компактным», что позволяет рабочему контролировать работу оборудования с меньшим числом переходов и, как дополнительный результат, уменьшилось число катушек с браком по намоту проволоки (увеличение выхода годного), снизились затраты на исправление данного несоответствия продукции. Следует отметить, что применить такую схему позволило несколько факторов: применение на участке однотипного оборудования; компактное расположение станов на участках; относительно постоянная номенклатура изготавливаемых диаметров проволоки, позволяющая планировать настройку оборудования с небольшим числом перестроек.

Снизить затраты рабочего времени, связанные с простоем оборудования по причине несвоевременной доставки заготовки на канатные участки метизных цехов, позволило «разведение» на 30 мин начала рабочей смены между водителями погрузчиков, доставляющих заготовку с предыдущего передела, и рабочими-сдельщиками. К моменту, когда сдельщики приступают к работе на оборудовании, у водителей погрузчиков уже закончилось подготовительное время, они получили задание на смену и уже заняты доставкой заготовки к канатным машинам. Аналогичным способом были разведены смены и между участками, например, между участком сортировки и участком упаковки продукции.

Снизить простой оборудования позволяет материальная заинтересованность вспомогательного персонала участков. Для водителей погрузчиков технологических участков, наладчиков оборудования введено дополнительное материальное стимулирование за результаты работы обслуживаемого участка. В за-

висимости от процента выполнения норм выработки по участку им выплачивается премия («косвенная сдельная оплата труда»), размер которой может достигать 30% от установленного должностного оклада за фактически отработанное время. Важное условие такой выплаты – выполнение участком доведенного планового задания в натуральном выражении. Естественно, одни рабочие становятся заинтересованными в скорейшей доставке заготовки, другие – в сокращении времени при переналадке оборудования и его скорого запуска на производство продукции.

Это не единственный пример, когда, применяя материальное стимулирование, можно снизить затраты времени на производство продукции. Так, на канатных участках водителям погрузчиков установлена доплата за сбор пустых шпудлей на канатных участках и доставку их на участок тонкого волочения (предыдущий передел по отношению к канатному участку).

Согласно производственному процессу, пустые катушки должны возвращаться на участок тонкого волочения: сдельщики канатных участков складывают их в решетчатый контейнер и водитель отвозит его к станам тонкого волочения. В реальных производственных условиях так происходит не всегда. Причины могут быть разные: человеческий фактор, высокая интенсивность труда, отсутствие контейнера по какой-либо причине и т. д. Как результат, немало пустых шпудлей находится на станине канатных машин или на устройствах смота отрезков проволоки. За дополнительную плату водители погрузчиков сами собирают катушки в контейнер и отвозят его на участок тонкого волочения. Таким способом была решена проблема своевременного обеспечения волочильных станов пустыми катушками и бесперебойная работа оборудования на данном участке.

Большое внимание на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» уделяют условиям труда работающих: в сталепроволочных цехах на каждом производственном участке находятся автоматы с газированной водой и подсолон воды, оборудованы комнаты приема пищи, в которых находятся холодильники, микроволновые печи, электрические чайники, столы и стулья (в то же время в цехах и подразделениях завода действуют 10 столовых, работающих круглосуточно). В таких комнатах работники могут полноценно принять обед и восстановить свои силы для продолжения работы. Всего на предприятии оборудовано 58 таких комнат.

Выводы

В современной жесткой конкуренции каждое предприятие должно соблюдать режим экономии всех видов затрат. Снижение трудоемкости продукции при прочих равных условиях снижает ее себестоимость, тем самым, создавая предпосылки для более успешной работы организации.

Снижение трудоемкости продукции имеет особое значение для роста производительности труда. Эта категория резервов не имеет границ, как не имеет границ научно-технический прогресс и совершенствование организации труда и производства.

В ходе производственного процесса снижение трудоемкости должны осуществлять как сами работники, так и функциональные службы и производственные подразделения предприятия, в задачу которых входит создание нормального хода производственного процесса. В конечном счете, снижение трудоемкости продукции на предприятии ведет к росту благосостояния каждого члена коллектива.



УДК 621.771

Поступила 01.08.2017

ЦЕНТРАЛИЗАЦИЯ СЛУЖБЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРУДА ПО ОПЫТУ ОАО «БМЗ – УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БМК»

CENTRALIZATION OF SERVICE MANAGEMENT WORK EXPERIENCE OJSC «BSW – MANAGEMENT COMPANY OF HOLDING «BMC»

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

A. A. TSIDRENKOV, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin City, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: tri.onot@bmz.gomel.by

Рассматриваются преимущества и недостатки централизации службы труда на предприятии. Оптимизация численности службы труда предприятия. Решаемые задачи при централизации службы труда.

The advantages and disadvantages of centralization of the labor service division in the enterprise are considered in the article. Optimization of the number of labor service division of enterprise, tasks of the centralization of labor service are studied.

Ключевые слова. Персонал, управление персоналом, нормирование труда, централизация, организация труда, организационная структура.

Keywords. Personnel, personnel management, labor regulation, centralization, labor organization, organizational structure.

Построение организационной структуры службы организации и нормирования труда на предприятии, как правило, включает решение следующих вопросов:

- распределение работ по организации и нормированию труда между различными службами предприятия;
- распределение работ по организации и нормированию труда между общезаводскими и цеховыми службами, любыми подразделениями предприятия;
- осуществление информационных связей службы по организации и нормированию труда с другими техническими и управленческими службами по вопросам организации и нормирования труда;
- определение подчиненности заводских и цеховых служб по организации и нормированию труда в общей системе управления предприятием в целом.

На практике имеет место разнообразие в выполнении функций и задач нормирования труда, возложенных на различные службы предприятия. В зависимости от масштаба предприятия и его организационной структуры служба труда может иметь уровень управления, отдела, бюро (группы) и может быть построена по централизованной, децентрализованной и смешанной системам.

Термин «централизация» относится к степени сосредоточения принятия решений в одних руках, что связано только с формальной властью, т. е. с правами, которыми наделено определенное лицо в организации. Чем больше организация, тем более сложные решения она принимает. В случае, когда скорость принятия решений критическая, необходимо прибегнуть к определенной децентрализации. Однако децентрализовать – это не значит отменить контроль. Контроль должен быть настолько эффективен, чтобы децентрализованные действия можно было правильно оценить.

К факторам, обычно определяющим степень централизации и децентрализации, можно отнести следующие: усиление изменений и неопределенности окружающей среды обычно ассоциируется с децентрализацией, степень централизации и децентрализации должна соответствовать корпоративной стратегии, в периоды кризисов или в условиях значительных рисков власть может быть сосредоточена на высшем иерархическом уровне организации.

Факторы, влияющие на соотношение централизации и децентрализации: величина затрат (это может быть выражено в деньгах, престиже или мерах субъективного свойства); степень унификации (желаемый уровень единообразия может быть достигнут более эффективно с помощью укрепления централизации); размеры предприятия (на крупных предприятиях решения принимаются большим числом руководителей разного уровня, которые сложно координировать); философия менеджмента (руководители могут предпочитать авторитарную структуру управления, где все решения принимаются высшим руководством, или децентрализованную систему, где руководители всех уровней по своему усмотрению определяют сферу полномочий); наличие подходящего руководителя (при отсутствии менеджеров требуемого уровня целесообразно сосредоточить полномочия в высших звеньях управления); использование приемов контроля (чем выше возможности контроля, тем большей степени децентрализации можно достичь); характер деятельности организации (если осуществляемые коммерческие операции распространяются на большие географические районы, то потребуются и большая степень децентрализации); влияние внешней среды.

Преимущества централизации: высокие мобилизационные способности, относительно малое время реакции на воздействие (внутреннее или внешнее), достаточно простое реализовывание процессов информационного взаимодействия (координации действий более низкого уровня). Недостатки централизации: в целом недостаточно высокие адаптационные способности (негибкость) системы, относительно низкая надежность системы, сильная зависимость поведения всей системы от поведенческих характеристик центра.

Преимущества децентрализации: высокие адаптационные способности (структурная гибкость), относительно высокая надежность функционирования. Недостатки децентрализации: низкие мобилизационные способности, в общем случае большое время реакции системы на внешние воздействия.

Централизованная система управления организацией и нормированием труда предусматривает сосредоточение нормативно-исследовательской работы в общезаводских службах. Достоинством ее является возможность проведения единой политики в этой сфере деятельности и обеспечение равной напряженности норм труда в производственных подразделениях предприятия. Централизованная система организации и нормирования труда обеспечивает полное использование рабочего времени инженера по организации и нормированию труда и равномерную его загрузку, более эффективное использование его знаний. Специализация по видам нормируемых работ (функций) значительно повышает качество норм и обеспечивает их равную напряженность на однородных технологических операциях независимо от места их выполнения. Система целесообразна и в тех случаях, когда на предприятии недостаточно квалифицированных специалистов по организации и нормированию труда, так как позволяет эффективнее использовать имеющиеся кадры.

Децентрализованная система управления организацией и нормированием труда предусматривает установление норм затрат труда непосредственно в цехах. Она предполагает двойное подчинение инженера по организации и нормированию труда: методическое – начальнику службы труда, административное – начальнику цеха. Система целесообразна на крупных предприятиях со средне- и мелкосерийными типами производства, где установление норм в централизованном порядке затруднительно. Система может быть эффективна только при условии укомплектования производственных подразделений квалифицированными кадрами по организации и нормированию труда. На предприятиях, где преобладают укрупненные методы нормирования труда (на основе типовых норм и укрупненных нормативов времени), установление норм может быть поручено работникам производственных подразделений, например, мастеру, начальнику участка, при общей координации и методическом руководстве этой работой со стороны службы труда. При децентрализованной системе организации нормирования труда на предприятии не обеспечивается равная напряженность норм на однородные технологические операции. Кроме того, инженер по организации и нормированию труда часто занят выполнением несвойственных для него функций, что при большом количестве действующих норм затрудняет возможность их качественного анализа и своевременной замены и пересмотра.

Смешанная система организации нормирования труда имеет разновидности в зависимости от вариантов перераспределения функций между теми или иными службами предприятия. Вариант смешанной системы целесообразен на предприятиях со среднесерийным типом производства, когда установление норм на освоенную продукцию в основном производстве осуществляется в службе труда, а на осваиваемую продукцию и разовые работы – децентрализованно, в цехах. На некоторых предприятиях в службе труда централизована функция расчета норм труда, а анализ и контроль их качества, оформление нарядов, составление отчетов и другая текущая работа выполняются инженерами по организации и нормированию труда в цехах.

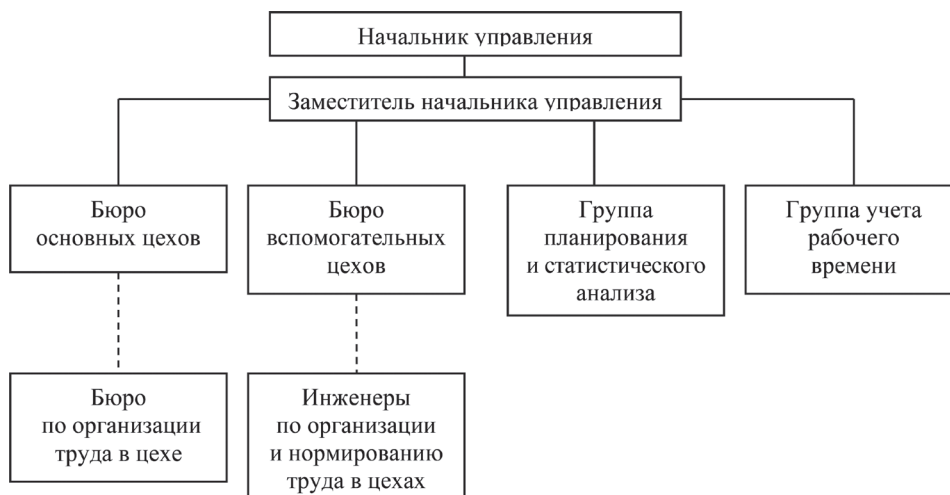


Рис. 1

При всех системах управления служба труда должна обеспечить методическое руководство работой и оказывать помощь цеховым службам, а также координировать работу по снижению трудовых затрат, контролировать качество действующих норм и нормативов по труду и обеспечить их своевременную замену и пересмотр. В производственных подразделениях ответственность за состояние нормирования труда должен нести руководитель данного подразделения и непосредственно руководитель цеховой службы нормирования труда.

Эффективность работы по организации и нормированию труда на предприятии во многом зависит от уровня профессиональной подготовки работников, занятых в этой области, и знаний основ организации и нормирования труда работодателями.

На ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» работой по организации и нормированию труда руководит управление организации и оплаты труда (УОиОТ). УОиОТ координирует работу в сфере организации, оплаты и нормирования труда структурных подразделений предприятия. В структурных подразделениях (в зависимости от численности персонала) имеется бюро по организации труда или инженер по организации и нормированию труда, непосредственно подчиненные руководителю подразделения. Организационная структура УОиОТ до проведения централизации представлена на рис. 1.

В 2017 г. руководством предприятия принято решение о централизации службы труда. За период апрель – май 2017 г. весь персонал службы труда переведен из цехов в УОиОТ. Основными целями централизации службы организации труда на предприятии были: оптимизация численности персонала, снижение рисков при принятии решений. В результате централизации оптимизировано 12,3% численности службы труда. Данная численность направлена на создание нового подразделения внутри структуры УОиОТ «Отдел совершенствования трудовых процессов и оплаты труда». Организационная структура УОиОТ после проведения централизации показана на рис. 2.

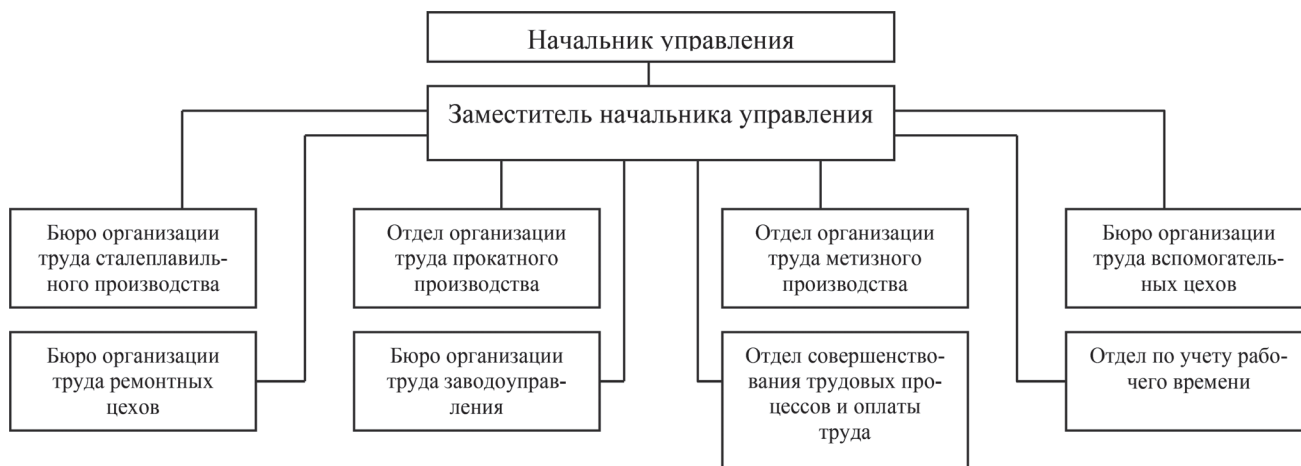


Рис. 2

Организационная структура УОиОТ включает в себя бюро организации труда сталеплавильного производства, отдел организации труда прокатного производства, отдел организации труда метизного производства, бюро организации труда вспомогательных цехов, бюро организации труда ремонтных цехов, бюро организации труда заводоуправления, отдел совершенствования трудовых процессов и оплаты труда, отдел по учету рабочего времени. Территориально руководители отделов, бюро, работники отдела совершенствования трудовых процессов и оплаты труда и бюро организации труда заводоуправления находятся в Заводоуправлении, все остальные на территории цехов.

На данный момент решаются следующие вопросы работы службы труда на предприятии:

1. Стандартизация процессов (разработка номенклатуры дел, должностных инструкций, унификация положений по оплате труда и другое).

2. Исключение (передача) непрофильных или несвойственных функций.

Несмотря на все трудности в процессе централизации службы труда на предприятии, уже на начальном этапе проявляются положительные моменты: возможность централизованного обучения персонала, возможность упрощения системы оплаты труда на более высоком уровне и выпуск единых документов, изменение позиции цеховых инженеров по организации и нормированию труда с «цеха» на «предприятие».

УДК 621.74

Поступила 10.05.2017

БОР. СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ В ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ BORON. PROPERTIES AND APPLICATION IN NUCLEAR ENERGY

В. А. ПАЛЕХА, А. А. ГЕТЬМАН, Военно-морской политехнический институт, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: a.a.getman@mail.ru

V. A. PALEKHA, A. A. GETMAN, Naval Polytechnic Institute, Saint-Petersburg, Russia.
E-mail: a.a.getman@mail.ru

Бор является одним из доступных химических элементов, активно влияющих на свойства сплавов. Главное применение бора в сплавах – регулирующие стержни ядерных реакторов для прекращения или замедления реакции деления.

Boron is one of the available chemical elements actively influencing the properties of the alloys. The main use of boron is in the alloys of the control rods of nuclear reactors to stop or slow down the fission reaction.

Ключевые слова. Тепловые нейтроны, заряженные α -частицы, нитрид бора, карбид бора, бориды.

Keywords. Thermal neutrons, charged α -particles, boron nitride, boron carbide, borides.

Содержание бора в земной коре – $3 \cdot 10^{-4}$ мас.%. В природе бор в свободном состоянии не обнаружен. Соединения бора в небольших концентрациях распространены в виде боросиликатов, боратов, бороалюмосиликатов. Как изоморфная примесь в других минералах бор присутствует во многих изверженных и осадочных породах, соединения бора имеются в нефтяных водах, морской воде, соляных озерах, горячих источниках, вулканических и сопочных грязях, во многих почвах.

Бор – химический элемент III группы периодической системы Менделеева, атомный номер – 5; атомная масса – 10,811; кристаллы серовато-черного цвета, чистый бор бесцветен. Природный бор состоит из двух стабильных изотопов: ^{10}B (19%) и ^{11}B (81%).

Известно несколько кристаллических модификаций бора. Для двух из них рентгеноструктурным анализом удалось полностью определить кристаллическую структуру, которая в обоих случаях оказалась весьма сложной. Атомы бора образуют в этих структурах трехмерный каркас подобно атомам углерода в алмазе. Этим объясняется высокая твердость бора. Однако строение каркаса в структурах бора гораздо сложнее, чем в алмазе. Основной структурной единицей в кристаллах бора служат 20-гранники (икосаэдры), в вершинах каждого из которых находятся 12 атомов бора. Икосаэдры соединяются между собой как непосредственно, так и посредством промежуточных атомов бора, не входящих в состав какого-либо икосаэдра. При таком строении оказывается, что атомы бора в кристаллах имеют разные координационные числа: 4, 5, 6 и $5 + 2$ (5 ближних «соседей» и 2 более далеких). Так как на внешней оболочке атома бора находятся всего три электрона (электронная конфигурация $2s^2 2p^1$), на каждую присутствующую в кристаллическом боре связь приходится существенно меньше двух электронов. В соответствии с современными представлениями в кристаллах бора осуществляется особый тип ковалентной связи – многоцентровая связь с дефицитом электронов. В соединениях ионного типа бор трехвалентен. Так называемый «аморфный» бор, получаемый при восстановлении B_2O_3 металлическим натрием или калием, имеет плотность $1,73 \text{ г/см}^3$. Чистый кристаллический бор имеет плотность $2,3 \text{ г/см}^3$, температуру плавления – 2030°C , температуру кипения – 3860°C ; твердость бора по минералогической шкале – 9, микротвердость – 34 ГН/м^2 (3400 кгс/мм^2). Кристаллический бор – полупроводник. В обычных условиях он проводит электрический ток плохо. При нагревании до 800°C электрическая проводимость бора увеличивается на несколько порядков, причем знак проводимости меняется; электронная – при низких температурах, дырочная – при высоких.

Химически бор при обычных условиях довольно инертен (взаимодействует активно лишь с фтором), причем кристаллический бор менее активен, чем аморфный. С повышением температуры активность бора возрастает и он соединяется с кислородом, серой, галогенами. При нагревании на воздухе до 700 °С бор горит красноватым пламенем, образуя борный ангидрид B_2O_3 – бесцветную стекловидную массу. При нагревании выше 900 °С бор с азотом образует нитрид бора BN, при нагревании с углем – карбид бора B_4C_3 , с металлами – бориды. С водородом бор заметно не реагирует; его гидриды (бороводороды) получают косвенным путем. При температуре красного каления бор взаимодействует с водяным паром: $2B + 3H_2O = B_2O_3 + 3H_2$. В кислотах бор при обычной температуре не растворяется, кроме концентрированной азотной кислоты, которая окисляет его до борной кислоты H_3BO_3 . Медленно растворяется в концентрированных растворах щелочей с образованием боратов.

Во фториде BF_3 и других галогенидах бор связан с галогенами тремя ковалентными связями. Поскольку для завершения устойчивой 8-электронной оболочки атому бора в галогениде BX_3 недостает пары электронов, молекулы галогенидов, особенно BF_3 , присоединяют молекулы других веществ, имеющие свободные электронные пары, например аммиака. В таких комплексных соединениях атом бора окружен четырьмя атомами (или группами атомов), что соответствует характерному для бора в его соединениях координационному числу 4. Важные комплексные соединения бора – борогидриды, например $Na[BH_4]$, и фтороборная, или борофтористоводородная, кислота $H[BF_4]$, образующаяся из BF_3 и HF; большинство солей этой кислоты (фтороборатов) растворимы в воде (за исключением солей K, Rb, Cs).

Общая особенность самого бора и его соединений – их сходство с кремнием и его соединениями. Так, борная кислота, подобно кремниевой, обладает слабыми кислотными свойствами и растворяется в HF с образованием газообразного BF_3 (кремниевая дает SiF_4). Бороводороды напоминают кремневодороды, а карбид бора – карбид кремния и т. д. Представляет интерес особое сходство модификаций нитрида BN с графитом или алмазом. Это связано с тем, что атомы B и N по электронной конфигурации совместно имитируют два атома C (у B – три валентных электрона, у N – пять, у двух атомов C – по четыре). Эта аналогия характерна и для других соединений, содержащих одновременно бор и азот. Так, боразан BH_3-NH_3 подобен этану CH_3-CH_3 , а боразен $BH_2=NH_2$ и простейший боразин $BH \equiv NH$ подобны соответственно этилену $CH_2=CH_2$ и ацетилену $CH \equiv CH$. Если тримеризация ацетилена C_2H_2 дает бензол C_6H_6 , то аналогичный процесс приводит от боразина $BHNNH$ к боразолу $B_3N_3H_6$.

Элементарный бор из природного сырья получают в несколько стадий. Разложением боратов горячей водой или серной кислотой (в зависимости от их растворимости) получают борную кислоту, а ее обезвоживанием – борный ангидрид. Восстановление B_2O_3 металлическим магнием дает бор в виде темно-бурого порошка; от примесей его очищают обработкой азотной и плавиковой кислотами. Чистый бор, необходимый в производстве полупроводников, получают из его галогенидов: восстанавливают BCl_3 водородом при 1200 °С или разлагают пары BBr_3 на танталовой проволоке, раскаленной до 1500 °С. Чистый бор получают также термическим разложением бороводородов.

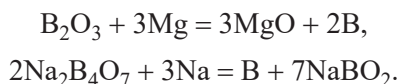
Бор в небольших количествах (доли%) вводят в сталь и некоторые сплавы для улучшения их механических свойств [1]. Легирование стали 0,001–0,003% бора существенно повышает ее прочность. Бор вводят в виде ферробора, т. е. сплава железа с 10–20% бора. Поверхностное насыщение стальных деталей бором (до глубины 0,1–0,5 мм) улучшает не только механические свойства, но и стойкость стали против коррозии [2].

Благодаря способности изотопа ^{10}B поглощать тепловые нейтроны его применяют для изготовления регулирующих стержней ядерных реакторов, служащих для прекращения или замедления реакции деления. Бор в виде газообразного BF_3 используют в счетчиках нейтронов. При взаимодействии ядер ^{10}B с нейтронами образуются заряженные α -частицы, которые легко регистрировать; число же α -частиц равно числу нейтронов, поступивших в счетчик: $^{10}_5B + ^1_0n = ^7_3Li + ^4_2\alpha$.

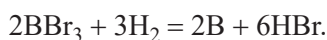
Бор и его соединения (нитрид BN, карбид B_4C_3 , фосфид BP и др.) применяют как диэлектрики и полупроводниковые материалы. Обширное применение находят борная кислота и ее соли (прежде всего бура), бориды и др. BF_3 – катализатор некоторых органических реакций.

Бор относится к числу химических элементов, необходимых для поддержания нормальной жизнедеятельности растений.

В промышленности из природных боратов сплавлением с содой получают буру. При обработке природных минералов бора серной кислотой образуется борная кислота. Из борной кислоты H_3BO_3 прокаливанием получают оксид B_2O_3 , а затем его или буру восстанавливают активными металлами (магнием или натрием) до свободного бора:

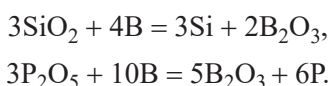


При этом в виде серого порошка образуется аморфный бор. Кристаллический бор высокой чистоты можно получить перекристаллизацией, но в промышленности его чаще получают электролизом расплавленных фтороборатов или термическим разложением паров бромид бора BBr_3 на раскаленной до 1000–1500 °С танталовой проволоке в присутствии водорода:



По многим физическим и химическим свойствам неметалл бор напоминает элемент группы IVA – неметалл кремний.

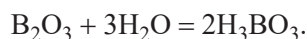
При сильном нагревании бор проявляет восстановительные свойства. Он способен, например, восстановить кремний или фосфор из их оксидов:



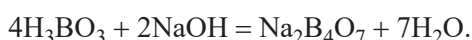
Данное свойство бора можно объяснить очень высокой прочностью химических связей в оксиде бора B_2O_3 .

При отсутствии окислителей бор устойчив к действию растворов щелочей. В горячей азотной, серной кислотах и в царской водке бор растворяется с образованием борной кислоты H_3BO_3 .

Оксид бора B_2O_3 – типичный кислотный оксид. Он реагирует с водой с образованием борной кислоты:

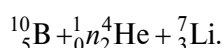


При взаимодействии борной кислоты со щелочами возникают соли не самой борной кислоты – бораты (содержащие анион BO_3^{3-}), а тетрабораты, например:



Изменения в изотопном составе бора, полученного из разных образцов, заключаются в том, что под действием протонов часть бора-10 превращается в бериллий-7, а тот в свою очередь после серии ядерных превращений – в гелий-4. Вопрос об изотопном составе элемента № 5 очень важный, а именно по одной из самых главных для ядерной энергетики характеристик – сечению захвата тепловых нейтронов – изотопы бора отличаются друг от друга очень сильно.

Бор (его нуклид ^{10}B) характеризуется высоким эффективным сечением захвата тепловых нейтронов ($3 \cdot 10^{-25} \text{ м}^2$):



Важно, что при этой ядерной реакции возникают только стабильные ядра. Поэтому чистый бор и особенно его сплавы применяют в виде поглощающих нейтроны материалов при изготовлении для ядерных реакторов регулирующих стержней, замедляющих или прекращающих реакции деления.

Сечение захвата – это способность ядра захватывать замедленные (тепловые) нейтроны, служащие возбудителями и распространителями цепной ядерной реакции. С помощью веществ, имеющих большое сечение захвата, можно регулировать ход цепной реакции и если нужно гасить ее. Из таких веществ делают управляющие стержни атомных реакторов. Но как конструкционные материалы «горячей зоны» такие вещества, конечно, не подходят. Наоборот, от элементов ядерной энергетики, имеющих большое сечение захвата, в том числе и от бора, конструкционные материалы атомной техники приходится тщательно очищать. Необходимы материалы с минимальным сечением, от которых нейтроны отскакивали бы.

По величине сечения захвата тепловых нейтронов легкий изотоп бора занимает одно из первых мест среди всех элементов и изотопов, а тяжелый – одно из самых последних. Это значит, что материалы на основе обоих изотопов элемента № 5 весьма интересны для реакторостроения, как, впрочем, и для других областей ядерной энергетики. Этот укрепляется отличными физико-механическими свойствами бора и многих его соединений: прочность, термостойкость, твердость. По твердости, например, кристаллический бор (AlB_{12}) занимает второе место среди всех элементов, уступая лишь углероду в виде алмаза.

Разделяют природный бор на изотопы и получают соединения бора с измененным изотопным составом во многих странах. Но разделяют, конечно, не элементарный бор, а одно из его соединений, чаще всего газообразный при нормальных условиях трехфтористый бор. В жидкость BF_3 превращается при температуре около минус 100 °С. Установлено, что молекулы трехфтористого бора, в состав которых входит бор-11, немного подвижнее тех, в которых заключен бор-10. Из-за этого $^{11}\text{BF}_3$ испаряется из жидкого трехфтористого бора чуть легче и быстрее, чем $^{10}\text{BF}_3$. Этой минимальной разницей в свойствах и пользуются для разделения изотопов бора в ректификационных колоннах. Процесс этот сложный и долгий – разница в свойствах моноизотопных фторидов бора невелика.

Регулирующие стержни производят не из фторида бора, даже если его изотопный состав изменен. Но превратить BF_3 в элементарный бор или карбид бора B_4C намного проще, чем разделить изотопы. Это выполняется химическими способами. Способностью бора активно захватывать нейтроны пользуются и для защиты от нейтронного излучения.

Литература

1. **Иванова В. А., Васильева А. В., Гетьман А. А.** Разработка новых комплекснолегированных сталей. Литейные процессы. Магнитогорск: МГТУ, 2000.
2. **Гетьман А. А., Ершов Г. А., Палеха В. А., Васильева А. В.** Оценка надежности деталей и оборудования энергетических установок кораблей. СПб: ВМПИ, ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», 2014.

References

1. **Ivanova V. A., Vasil'eva A. V., Get'man A. A.** *Razrabotka novykh kompleksnolegirovannykh stalej* [Development of new complex-alloyed steels]. Magnitogorsk, MGTU Publ., 2000, 4 p.
2. **Get'man A. A., Ershov G. A., Paleha V. A., Vasil'eva A. V.** *Ocenka nadezhnosti detalej i oborudovanija jenergeticheskikh ustanovok korablej* [Evaluation of the reliability of parts and equipment of ship power plants]. St. Petersburg, VMPI Publ., 2014.

УДК 621.74

Поступила 10.05.2017

ЭРБИЙ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКЕ ERBIUM AND ITS APPLICATION IN MODERN TECHNOLOGY

*А. В. ВАСИЛЬЕВА, А. А. ГЕТЬМАН, Военно-морской политехнический институт,
г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: a.a.getman@mail.ru*

*A. V. VASILYEVA, A. A. GETMAN, Naval Polytechnic Institute, Saint-Petersburg, Russia.
E-mail: a.a.getman@mail.ru*

Эрбий используют в качестве компонента магнитных сплавов; оксид эрбия применяется в ядерной энергетике для улучшения энергораспределения и безопасности работы ядерного реактора.

Erbium is used as a component of magnetic alloys; oxide of erbium is used in nuclear power to improve energy distribution and safe operation of a nuclear reactor.

Ключевые слова. Борат, стержни реактора, поглощение нейтронов, криокуляры.

Keywords. Borate, reactor cores, neutron absorption, cryocooler.

Эрбий относится к лантаноидам, которые встречаются очень редко. Входит в состав таких минералов, как ксенотим, бастнезит, монацит, эвксенит, лопарит. Их месторождения в США, Казахстане, России, Украине, Австралии, Бразилии, Индии, Скандинавии.

Эрбий – белый (серебристо-белый) металл. Содержание в земной коре – $3,3 \cdot 10^{-4}$ мас.%, в морской воде – $6 \cdot 10^{-7}$ мг/л. Гексагональная решетка с параметрами: $a = 0,35588$ нм и $c = 0,55874$ нм. Температура плавления – 1522 °С, температура кипения – 2510 °С. Вместе с лютецием и тулием эрбий принадлежит к числу самых тяжелых лантаноидов – его плотность больше 9 г/см³. Легко поддается механической обработке [1]. Кроме розовой окраски большинства соединений, в том числе оксида Er₂O₃, эрбий почти ничем не отличается от прочих лантаноидов иттриевой группы, несколько большие прочность и твердость выделяют этот элемент среди других лантаноидов. Предел прочности эрбия на сжатие – 780 МПа [1].

Эрбий из природной смеси редкоземельных элементов выделяют методами экстракции и хроматографии. Дальнейшую очистку, как правило, проводят хроматографически. Металлический эрбий получают электролизом расплава хлорида (фторида) эрбия ErCl₃ (ErF₃), а также кальцийтермическим восстановлением этих солей [2].

Используют эрбий в качестве компонента магнитных сплавов с Fe, Co, Ni, обладающих высокой индукцией и магнитострикцией. В соединении с ванадием и при добавлении в различные сплавы снижается их твердость и увеличивается работоспособность.

Эрбий-никелевый сплав (ErNi) имеет необычно высокую теплоемкость и используется в криокулярах; смесь 65% Er₃Co и 35% Er_{0,9}Yb_{0,1}Ni по объему улучшает удельную теплоемкость [1].

При низких температурах эрбий представляет собой очень сильный магнит. При добавлении его в сплавы их жесткость значительно понижается, а жизненный цикл продлевается. Электродный потенциал эрбия относительно стандартного водородного при комнатной температуре равен –2,1 В.

Исследованы сплавы эрбия с основными компонентами промышленных сплавов – магнием, алюминием, железом, титаном. При 5% сплавляется с алюминием, магнием, железом и титаном с образованием во всех случаях двухфазных смесей эвтектического или перитектического типа. Для исследованных сплавов эрбий является хорошим модификатором и упрочнителем, но с танталом не сплавляется. Эрбий используется для получения магнитных сплавов с кобальтом и никелем.

На воздухе эрбий окисляется медленно, при нагревании во влажном воздухе несколько быстрее, с минеральными кислотами образует соли. Взаимодействует с O₂, галогенами, халькогенами, N₂ и H₂

при нагревании, образуя соединения Er (III). В водных средах эрбий существует в виде гидратированных ионов Er^{3+} . С различными органическими и неорганическими лигандами ион Er (III) образует соединения с координационными числами от 9 до 15. По химическим свойствам подобен другим лантаноидам. Er (I) известен только в гидролитически неустойчивых галогенидных кластерах типа ErX , Er_4X_5 , Er_7X_{10} , Er_6X_7 и т. п., где $X = Cl, Br, I$, образующихся при взаимодействии металлического эрбия с ErX_3 .

Оксид Er_2O_3 получают разложением $Er(NO_3)_3$, $Er_2(SO_4)_3$, $Er_2(CrO_4)_3$ или других солей на воздухе обычно при 800–1000 °С. Оксид эрбия представляет собой порошок розового цвета. Используется для специальных керамик, люминофоров, лазерных стекол, а также в электронике при контроле нейтронами в атомной промышленности. Допустимая концентрация в воздухе 4 мг/м³.

Трифторид ErF_3 получают взаимодействием Er_2O_3 с HF-газом при 500 °С, термическим разложением фтораммониевых солей $(NH_4)_3ErF_6$ при 400–500 °С. В атмосфере Ar, N_2 применяют для получения чистого металлического эрбия металлотермическим способом в качестве компонента твердых электролитов.

Трихлорид $ErCl_3$ гигроскопичен; получают взаимодействием смеси Cl_2 и CCl_4 с оксидом или оксалатом эрбия выше 200 °С, хлорированием эрбия и др. Применяют для получения металлоорганических соединений эрбия и металлического эрбия металлотермически или электрохимически [1].

Гидроксид эрбия $Er(OH)_3$ розового цвета, не растворяется в воде, образуется по обменной реакции между NaOH и водными растворами солей эрбия (III).

Трибромид эрбия $ErBr_3$ ($t_{пл} = 950$ °С) и трийодид ErI_3 ($t_{пл} = 1015$ °С) – вещества фиолетового цвета, весьма гигроскопичные, хорошо растворяются в воде, кристаллизуются из растворов в виде окта- и нонагидратов соответственно.

Основными соединениями эрбия являются оксид Er_2O_3 , трифторид ErF_3 , трихлорид $ErCl_3$, гидроксид эрбия $Er(OH)_3$, трибромид $ErBr_3$ и трийодид ErI_3 эрбия.

Одно из важнейших направлений использования эрбия – его применение в виде оксида (иногда бора-та) в ядерной энергетике. Смесь оксида эрбия и оксида урана позволяет резко улучшить работу реактора большой мощности (РБМК), повысив в них энергораспределение, технико-экономические параметры, и что особенно важно – безопасность работы реакторов [1].

Эрбий используется в стержнях реактора, регулирующий процесс деления ядер атомов в ядерном реакторе. Выполнен из материала, который обладает увеличенной способностью поглощать нейтроны.

Регулирующие стержни изготавливают из кадмия, бора, редкоземельных элементов, в том числе и эрбия. Изменение положения регулирующего стержня способствует повышению реактивности, изменению количества ядерного топлива или атомных ядер, которые поглощают нейтроны [2].

В настоящее время активные зоны водоохлаждаемых ядерных реакторов формируются из тепловыделяющих сборок, содержащих топливо различного состава с добавкой выгорающего поглотителя, что позволяет компенсировать реактивность, выравнивать энерговыделение по объему активной зоны и поддерживать температурный коэффициент реактивности на заданном уровне. В качестве выгорающего поглотителя в топливе для реакторов РБМК используют эрбий, который вводят в виде порошка оксида эрбия непосредственно при изготовлении топливных таблеток.

Наличие эрбия в топливе РБМК и увеличение его содержания позволяют осуществить замену в активной зоне части дополнительных поглотителей на рабочие тепловыделяющие сборки, что повышает глубину выгорания топлива.

Проблемой уран-эрбиевого топлива является присутствие эрбия, механически смешанного с порошком диоксида урана, что отрицательно сказывается на свойствах самого топлива, из-за уменьшения плотности, увеличении открытой пористости, снижении величины среднего размера зерна топливной таблетки. Указанные причины ограничивают возможность повышения содержания эрбия в топливе [2].

В ядерной энергетике эрбий применяется в основном для улучшения работы РБМК, изготовления регулирующих стержней, контролирующих атомные реакторы, выгорающего поглотителя в топливе для реакторов РБМК [3].

Литература

1. Редкоземельные элементы: Технология и применение /Под ред. Ф. Виллани; Пер. с англ. А. Н. Штейнберга М.: Металлургия, 1985. 376 с.
2. Патентный поиск, 2012–2016 [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.findpatent.ru>, свободный.
3. Гетьман А. А., Ершов Г. А., Васильева А. В. Оценка надежности деталей и оборудования ядерных энергетических установок кораблей. СПб. ВМПИ, 2016.

ТЕХНОЛИТ

www.technolit.by



- ◆ МАТЕРИАЛЫ,
- ◆ ОБОРУДОВАНИЕ
- ◆ МОДЕЛЬНАЯ ОСНАСТКА
- ◆ РЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ
- ◆ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ
- ◆ РАЗРАБОТКА ДЕКЛАРАЦИЙ ПРОМ. БЕЗОПАСНОСТИ

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ РЕСПУБЛИКАНСКОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

Республика Беларусь, 220013, г. Минск, ул. Я. Коласа, 24
Тел./факс (+375 17) 292-85-20, 292-30-92
technolit@tut.by

Ресурсосберегающая технология и оборудование для точного литья по газифицируемым моделям

Суть технологического процесса литья по газифицируемым моделям сводится к получению отливок путем замещения жидким расплавом заформованной в контейнере с песком модели, изготовленной из газифицируемого материала с нанесением на нее соответствующих противопригарных покрытий. Технологический цикл включает два этапа: изготовление моделей и изготовление отливок.



В состав отделения изготовления моделей входит оборудование:

- предварительной подготовки полистирола;
- изготовления моделей;
- сборки моделей и модельных блоков;
- окраски и сушки модельных блоков.



В состав отделения изготовления отливок входит оборудование:

- вибрационной формовки блоков моделей в контейнерах;
- подачи и вакуумирования контейнеров;
- плавки и заливки металла;
- извлечения деталей и подготовки формовочного материала (охлаждение и регенерация);
- нейтрализация газов и пыли.

ПРЕИМУЩЕСТВА:

- сокращение затрат на механическую обработку;
- уменьшение затрат на вспомогательные материалы;
- сокращение трудозатрат;
- снижение потребления электроэнергии;
- оптимальное использование производственных площадей;
- повышение экологической безопасности;
- увеличение выхода годного до 70-90%.



Масса отливки..... от 10 г до 2 т
Чистота поверхности..... до Ra 6,3
Размерная и весовая точность..... 6 - 7 класс
Материал отливок: серый и высокопрочный чугун; бронза и латунь; алюминиевые сплавы

Институт выполняет заказы по изготовлению отливок из черных и цветных металлов по технологии литья по газифицируемым моделям. Разрабатывает по чертежам заказчика модельную оснастку, а также изготавливает отливки по оснастке заказчика.

ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ Национальной академии наук Беларуси

Беларусь, 212030, г. Могилев, ул. Бялыницкого-Бирули, 11
Факс +375 222 28 01 49 Тел. +375 222 28 86 47
info@itm.by <http://www.itm.by>

Антифрикционный силумин

В Институте разработан (пат. BY 17697, RU 2504595) антифрикционный силумин (АС) – новый, относительно легкий и износостойкий сплав на основе алюминия, с высокими механическими и триботехническими свойствами. Применяется **для замены бронз, латуней и баббитов** при изготовлении деталей, работающих в условиях трения скольжения.

Детали из антифрикционного силумина по механическим свойствам и износостойкости превосходят бронзовые в 2-6 раз.



- направляющие втулок;
- подшипники скольжения;
- вкладыши;
- шестерни червячных колес;
- поршни гидроцилиндров;
- другие детали, работающие в условиях трения скольжения.



Твердость НВ.....	110-150
Временное сопротивление разрыву, МПа.....	300-450
Относительное удлинение, %.....	1-5
Допустимая нагрузка (по результатам испытаний), кН	1250
Коэффициент трения скольжения со смазкой	0,05-0,1
Коэффициент трения скольжения при сухом трении	0,12-0,2

Специальная термическая обработка заготовок по ускоренному режиму позволяет получить глобулярные кристаллы кремния и повысить механические и триботехнические свойства деталей. АС обладает высокой коррозионной стойкостью и малочувствителен к нефти, газовому конденсату, бензину, керосину, воде и атмосферным загрязнениям. АС не применяется в щелочных средах, соляной и серной кислотах.

Отливки из медных сплавов



Высокая плотность металла, отсутствие раковин, шлаковых и неметаллических включений.

Масса отливки, кг..... до 150

Применяются для изготовления втулок, подшипников скольжения, ходовых гаек, зубчатых венцов и других деталей, используемых в машиностроении и химической промышленности.

Биметаллические втулки "сталь-медный сплав"

Снижение расхода медных сплавов. Увеличение ресурса работы.



Внутренний диаметр, мм.....	более 20
Длина заготовки, мм	до 300
Толщина наплавленного слоя, мм.....	не менее 0,25
Припуск на механическую обработку, мм.....	0,5-1,0
Масса отливки, кг.....	до 150

ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ Национальной академии наук Беларуси

Беларусь, 212030, г. Могилев, ул. Бялыницкого-Бирули, 11

Факс +375 222 28 01 49 Тел. +375 222 28 86 47

info@itm.by <http://www.itm.by>

Машины для производства оболочковых полуформ



Модель 46185А

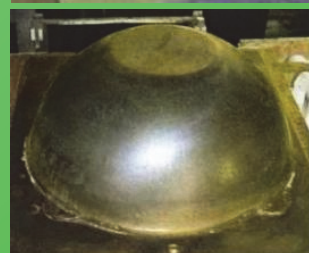


Модель 46152М

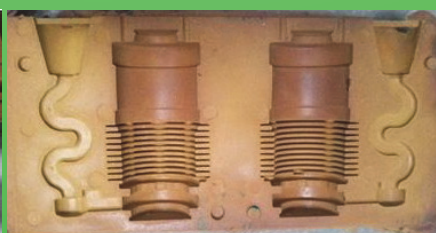
Машины предназначены для производства оболочковых форм. Отливки из стали и других сплавов, получаемые в этих формах, отличаются:

- повышенной точностью;
- толщиной стенки от 4 мм (чугунная посуда и др.);
- возможностью работать при избыточном давлении до 120 атм. (запорная арматура, гидрораспределители, корпуса водяных насосов и др.).

Технические характеристики	Модель	
	46152М двухпозиционная	46185А однопозиционная
Производительность, полуформ/час (съемов), не менее	20	10
Размеры модельной плиты в свету, мм	600×400	650×340
Число рабочих позиций (модельных плит), шт.	2	1
Толщина формируемой полуформы, мм	10÷12	
Время формирования полуформы, с	45÷60	
Рабочая температура в печи, °K (°C)	673 (400)	
Количество печей, шт.	2	1
Установленная мощность, кВт, не более	36,0	
Расход сжатого воздуха, м³/ч	1±0,1	
Габаритные размеры машины (Д×Ш×В), мм	6690×1185×3000	4230×1315×3000
Масса машины, кг	4660	2550



Образцы оболочковых форм и получаемых отливок



ОАО «БЕЛНИИЛИТ»

РБ, 220118, г. Минск, ул. Машиностроителей, 28

Тел.: +375 17 341 0822 Факс: +375 17 340 0322

E-mail: belniilit@gmail.com; niilit@mail.belpak.by

www.belniilit.by



ЛИТЕЙНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ

- Комплексные проекты по созданию новых и модернизации действующих литейных предприятий и цехов
- Технологии и оборудование для производства отливок из цветных и железоуглеродистых сплавов
- Смесеприготовительное оборудование
- Технологии и оборудование для производства песчаных стержней
- Формовочное оборудование
- Проектирование и изготовление литейной технологической оснастки

Оборудование для производства отливок гильз цилиндров



Комплекс оборудования



Машина центробежная карусельная



Машина кокильная карусельная



Машина кокильная
однопозиционная специальная



Комплекс кокильный

Оборудование для производства отливок в кокиль

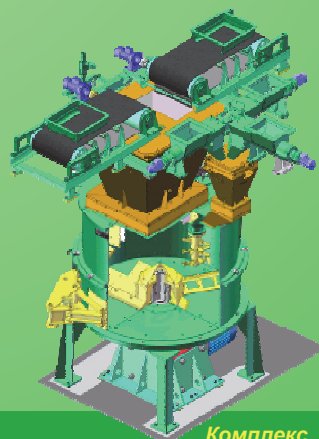
Оборудование для производства стержней



Машина стержневая



Комплекс стержневой

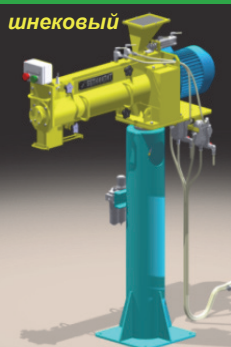


Комплекс
смесеприготовительный



Комплекс оборудования
для изготовления форм и
стержней из ХТС

Смесители для приготовления
песчано-смоляных смесей



шнековый



скребковый

ОАО «БЕЛНИИЛИТ»

РБ, 220118, г. Минск, ул. Машиностроителей, 28
Тел.: +375 17 341 0822 Факс: +375 17 340 0322
E-mail: belniilit@gmail.com; niilit@mail.belpak.by
www.belniilit.by



RECHITSA METIZNY PLANT
РЕЧИЦКИЙ МЕТИЗНЫЙ ЗАВОД

www.rmz.by

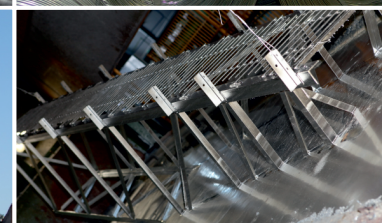


Производство метизной продукции



- Болты М6х12 ÷ М16х150 класс прочности 4.8; 5.8; 8.8; 10.9
- Гайки М6 ÷ М16, класс прочности 6; 8
- Шпильки М6 ÷ М16, L=1000, 2000 мм
- Винты М3 ÷ М10, L=6 ÷ 70 мм
- Шурупы; Саморезы; Заклепки; Шпильнты; Оси
- Гвозди строительный, специальные; Проволока

ВЫСОКОЕ КАЧЕСТВО



Горячее цинкование крупногабаритных металлоконструкций и труб



247500, Республика Беларусь, Гомельская область,
г.Речица, ул. Фрунзе, 2
Телефон: +375 2340 6-34-87, 6-22-73, 6-36-83
Факс: +375 2340 6-52-60, 6-31-82, 2-50-20
www.rmz.by e-mail: info@rmz.by

