ISSN 1683-6065(Print)
ISSN 2414-0406(Online)

ЛИТЬЕ и МЕТАЛЛУРГИЯ

Том 91, № 2, 2018 г.

Ежеквартальный научно-производственный журнал.
Выпускается на русском, с аннотацией на английском языке;
распространяется в БЕЛАРУСИ, РОССИИ, УКРАИНЕ, ЛИТВЕ, КАЗАХСТАНЕ,
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

Харитончик С. В., Белорусский национальный технический университет, Беларусь
Хрусталев Б. М., Белорусский национальный технический университет, Беларусь
Анелькин Н. И., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», Беларусь
Сайков М. А., ОАО «Гомельский литейный завод «Центролит», Беларусь
Самончик В. Г., ОАО «Речицкий метизный завод», Беларусь
Николайчик Ю. А., Белорусский национальный технический университет, Беларусь

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

РЕДАКЦИЯ

Машканова С. В., редактор
Волынец П. В., компьютерная верстка, дизайн
Голосюк Н. В., менеджмент
Соболев В. Е., перевод

ОСНОВАТЕЛЬ ЖУРНАЛА

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Марукович Е. И., главный редактор, ГНУ «Институт технологии металлов НАН Беларуси», Беларусь
Иваницкий Н. И., зам. главного редактора, Белорусский национальный технический университет, Беларусь
Анелькин Н. И., зам. главного редактора, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», Беларусь
Анисович А. Г., ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», Беларусь
Бевза В. Ф., ГНУ «Институт технологии металлов НАН Беларуси», Беларусь
Гордиенко А. И., ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», Беларусь
Дибров И. А., Российская ассоциация литейщиков, Россия
Иванов И. А., Белорусский национальный технический университет, Беларусь
Калиниченко А. С., Белорусский национальный технический университет, Беларусь
Константинов В. М., Белорусский национальный технический университет, Беларусь
Крамер О. М., HEINRICH WAGNER SINTO Maschinenfabrik GmbH, Германия
Ли Джон-Хун, Республика Корея
Ловшенко Г. Ф., УО «Белорусская государственная академия авиации», Беларусь
Маляревич А. М., Белорусский национальный технический университет, Беларусь
Маяускас Э. П., Литва
Найдек В. Л., Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Украина
Немененок Б. М., Белорусский национальный технический университет, Беларусь
Николайчик Ю. А., Белорусский национальный технический университет, Беларусь
Нофал А., Центральный научно-исследовательский металлургический институт, Египет
Пантелеенко Ф. И., Белорусский национальный технический университет, Беларусь
Перетягина Е. А., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», Беларусь
Стеценко В. Ю., ГНУ «Институт технологии металлов НАН Беларуси», Беларусь
Трусова И. А., Белорусский национальный технический университет, Беларусь
Чой Ки-Йонг, Республика Корея

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.alimrb.by, www.lim.bntu.by

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь. Свидетельство о регистрации № 1244 от 31 мая 2012 г.
Подписано в печать 11.06.2018. Выход в свет 28.06.2018. Формат 60×84⅛. Цена свободная
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 15,34. Уч.-изд. л. 6,00. Тираж 150 экз. Заказ 528.
Отпечатано в БНТУ. Лицензия ЛП № 02330/74 от 03.03.2014. 220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65

Редакция не несет ответственности за содержание рекламных объявлений.
Журнал «Литье и металлургия» включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь, DOAJ, РИНЦ.

© Белорусский национальный технический университет, 2018

ISSN 1683-6065(Print)
ISSN 2414-0406(Online)

FOUNDRY PRODUCTION AND METALLURGY

Vol. 91, no. 2, 2018

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 of Belarus
OJSC «BELNIILIT»
OJSC «Gomel Foundry Plant «TSENTROLIT»
State scientific institution «Institute of Technology of Metals of National Academy of Sciences of Belarus»
OJSC «Minsk Tractor Works»
OJSC «Mogilev Metallurgical Works»
OJSC «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. I., Academician of NAS RB, Dr. of Engineering Sciences, Professor, Laureate of State Prize of BSSR and RB, Honoured Inventor of Belarus

EDITORIAL COUNCIL

Kharitonchik S. V., Belarusian National Technical University, Belarus
Khrustalev B. M., Belarusian National Technical University, Belarus
Anel'kin N. I., OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Belarus
Saykov M. A., OJSC Gomel Foundry Plant «TSENTROLIT», Belarus
Samonchik V. G., OJSC Rechitsa Metizny Plant, Belarus
Nikolaychik Yu. A., Belarusian National Technical University, Belarus

CHIEF EDITOR

Marukovich E. I., Academician of National Academy of Sciences of Belarus, Dr. of Engineering Sciences, Professor

EDITORIAL STAFF

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

EDITORIAL BOARD

Marukovich E. I., Chief Editor, Institute of Technology of Metals of National Academy of Sciences of Belarus, Belarus
Ivanitsky N. I., Deputy Chief Editor, Belarusian National Technical University, Belarus
Anel'kin N. I., Deputy Chief Editor, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Belarus
Anisovich A. G., Physico-Technical Institute of National Academy of Sciences of Belarus», Belarus
Bevza V. F., Institute of Technology of Metals of National Academy of Sciences of Belarus, Belarus
Gordienko A. I., Physico-Technical Institute of National Academy of Sciences of Belarus», Belarus
Dibrov I. A., Russian Foundry Association, Russia
Ivanov I. A., Belarusian National Technical University, Belarus
Kalinichenko A. S., Belarusian National Technical University, Belarus
Konstantinov V. M., Belarusian National Technical University, Belarus
Kramer O. M., HEINRICH WAGNER SINTO Maschinenfabrik GmbH, Germany
Lee John-Hoon, Republic of Korea
Lovshenko G. F., Belarusian State Academy of Aviation, Belarus
Malyarevich A. M., Belarusian National Technical University, Belarus
Mayuskas E. P., Lithuania
Naidek V. L., Physico-Technological Institute of Metals and Alloys National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine
Nemenenok B. M., Belarusian National Technical University, Belarus
Nikolaychik Yu. A., Belarusian National Technical University, Belarus
Nofal A., Central Research Institute of Metallurgy, Egypt
Panteleenko F. I., Belarusian National Technical University, Belarus
Peretyagina E. A., OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Belarus
Stetsenko V. Yu., Institute of Technology of Metals of National Academy of Sciences of Belarus, Belarus
Trusova I. A., Belarusian National Technical University, Belarus
Choi Ki-Jong, Republic of Korea

ESTABLISHER OF THE JOURNAL

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

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: www.alimrb.by, www.lim.bntu.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 60×84⅛. Free price. Offset paper. Digital printing.
Base print pages 15,34. Account. publ. pages 6,00. Circulation 150 copies. Order 528.
Printed in BNTU. Permit LP No 02330/74 dated 03.03.2014. 65, Nezavisimosti ave., Minsk, 220013

The editorial staff does not accept responsibility for advertisements.
The Journal is included in the Databases DOAJ and RISC.

© Belarusian National Technical University, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Подписной индекс 75034

С ЮБИЛЕЕМ

Гетьман А. А. (к 90-летию со дня рождения) . . . 7
Сайков М. А. (к 65-летию со дня рождения) . . . 9
Исаевич Л. А. (к 75-летию со дня рождения) . . . 11

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Марукович Е. И., Стеценко В. Ю., ГНУ ИТМ НАН Беларуси
Проблема модифицирования алюминиево-кремниевой эвтектики силуминов. Пути решения . . . 12

Ткаченко С. С., Колодий Г. А., Знаменский Л. Г., Ермоленко А. А. (ЛенАЛ, ЮУрГУ)
Холоднотвердеющие смеси на неорганическом связующем: состояние и перспективы развития (неорганика против органики) . . . 16

Дорошенко В. С., ФТИМиС НАН Украины
Литейное производство как среда для природоподобных технологий . . . 23

Ровин С. Л., УП «Технолит», Ровин Л. Е., ГГТУ им. П. О. Сухого, Калиниченко А. С., Долгий Л. П., Шейнерт В. А., БНТУ
Создание собственной сырьевой базы для литейного производства машиностроительных предприятий . . . 29

Комаров О. С., Розенберг Е. В., БНТУ, Карась А. Н., Невмержицкий А. М., Апанасевич А. Н., ОАО «МТЗ»
Просечки на поверхности чугунных отливок . . . 37

Ровин С. Л., УП «Технолит», Григорьев С. В., БНТУ
Исследование отходов, образующихся при производстве свинца . . . 43

Крутилин А. Н., Гуминский Ю. Ю., БНТУ, Кульбицкая Л. В., ГНУ ИОНХ НАН Беларуси
Повышение эффективности использования жидкостекольных смесей. Часть 2. Электрофизические способы воздействия 50

САПР

Чичко А. Н., ГНУ ИТМО НАН Беларуси, Лихоузов С. Г., Сачек О. А., Чичко О. И., Матюшинец Т. В.
Моделирование функции плотности распределения температур в детали при постоянной температуре нагревания . . . 57

МЕТАЛЛУРГИЯ

Тимошпольский В. И., Трусова И. А., БНТУ
Показатели черной металлургии стран СНГ и бывшего СССР до 2000 года . . . 65

Кухаренко М. А., Радькова И. Н., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»
Устройство для улучшения пластических свойств проволоки РМЛ . . . 73

Куренкова Т. П., Борисовец И. В., Лазебникова И. П., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»
Определение качества полировки рабочего канала волочильного твердосплавного инструмента производства ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» . . . 75

Локтионова Л. В., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»
Опыт использования измерительного прибора ребер типа RM 201 при определении геометрических параметров арматуры периодического профиля . . . 82

Муравейко И. А., Демидов А. В., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»
Модификация латунного покрытия кобальтом . . . 85

Акатьева Т. И., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»
Опыт применения климатической камеры для искусственного старения продукции на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» . . . 89

Базуев И. В., Прыбытков Ю. В., Ковалева И. А., Овчинникова И. А., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»
Детальное исследование показателей работы и оптимальный выбор абразива для мокрого шлифования высоколегированных сталей . . . 94

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Иванов И. А., Слуцкий А. Г., Шейнерт В. А., Ковалевич Э. В., Хлебцевич В. Н., БНТУ
Получение катодов- мишеней из силицидов для вакуумных ионно-плазменных источников . . . 99

Кукареко В. А., Григорчик А. Н., Астрашаб Е. В., ГНУ ОИМ НАН Беларуси, Лущик П. Е., БНТУ
Структурно-фазовое состояние и триботехнические свойства отливок из высокохромистой стали 20Х15Г3, полученных по технологии точного литья SOL-GEL в керамические формы . . . 103

Урбанович Н. И., Мельниченко В. В., Барановский К. Э., Розенберг Е. В., БНТУ, Радченко А. А., Игнатович З. В., ОХП «Институт сварки и защитных покрытий НАН Беларуси»
Исследование влияния модифицирующей добавки с ультрадисперсными частицами в покрытии электрода для ручной дуговой сварки на технологические параметры изготовления электрода . . . 108

Андрушевич А. А., Анискович Г. И., Кантор П. Л., Кучук Д. В., БГАТУ
Формирование нанокристаллического состояния в деталях из углеродистых конструкционных сталей . . . 113

Федулов В. Н., БНТУ
Новые составы сталей для инструмента холодного и горячего формообразования и возможности их упрочнения . . . 119

НОВОСТИ

Анисович А. Г., ГНУ ФТИ НАН Беларуси
Международная научно-техническая конференция «Наука и технология модифицирования чугуна» 124

НЕКРОЛОГ

Памяти Андрианова Н. В.. 127

CONTENTS

Subscription 75034

WITH THE ANNIVERSARY

Getman A. A. (to the 90-th anniversary of birth) . . . 7
Saykov M. A. (to the 65-th anniversary of birth) . . . 9
Isaevich L. A. (to the 75-th anniversary of birth) . . . 11

FOUNDRY

Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu., Institute of Technology of Metals of National Academy of Sciences of Belarus
The problem of modifying an aluminum-silicon eutectic alloy of silumins. Way of solutions . . . 12

Tkachenko S. S., Kolodiy G. A., The Association of Foundres of St. Petersburg and Leningrad region, Znamensky L. G., Ermolenko A. A., South-Ural State University
Cold mixture of inorganic binder: status and prospects of development (Inorganic vs. organic) . . . 16

Doroshenko V. S., Physical-Technological Institute of metals and alloys National Academy of Sciences of Ukraine
Foundry production as an environment for nature-like technologies . . . 23

Rovin S. L., «Technolit» Co, Rovin L. E., Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoj, Kalinichenko A. S., Dolgy L. P., Sheinert V. A., Belarusian National Technical University,
Creation of own raw-material base for foundry production on machine-building enterprises . . . 29

Komarov O. S., Rozenberg E. V., Belarusian National Technical University, Karas A. N., Neumiarzhytski A. M., Apanasevich A. N., OJSC «Minsk Tractor Works»
Perforations on the surface of iron castings . . . 37

Rovin S. L., «Technolit» Co, Grigoriev S. V., Belarusian National Technical University
A study of wastes generated in the production of lead . . . 43

Krutilin A. N., Huminski Yu. Yu., Belarusian National Technical University, Kulbitskaya L. V., SSI Institute of General and Inorganic Chemistry of National Academy of Sciences of Belarus
Efficiency upgrading in utilization of liquid-glass mixtures. Part 2. Electrophysical methods of action . . . 50

COMPUTER-AIDED DESIGN SYSTEM

Chichko A. N., Institute of Heat and Mass Transfer of National Academy of Sciences of Belarus, Likhousov S. G., Sachek O. A., Chichko O. I., Matyushinets T. V.
Modeling of the temperature distribution density function in a detail at a constant heating temperature . . . 57

METALLURGY

Timoshpolskii V. I., Trusova I. A., Belarusian National Technical University
Indicators of ferrous metallurgy of the cis countries and former ussr to the year 2000 . . . 65

Kukharenko M. A., Radkova I. N., OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC»
Device for improving the plastic properties of the wire RML . . . 73

Kurenkova T. P., Borisovets I. V., Lazebnikova I. P., OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC»
Determination of the polishing quality in the working channel of the drawing of carbide tools produced by OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC» . . . 75

Loktionova L. V., OJSC « BSW – Management Company of Holding «BMC»
Experience in the use of the measuring device rib type RM 201 WHEN determining the geometric parameters of rebar periodic profile . . . 82

Muraveiko I. A., Demidov A. V., OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC»
Modification of the brass coating by cobalt . . . 85

Akatyeva T. I., OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC»
Experience with the use of the climatic chamber for artificial ageing products at OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC» . . . 89

Bazuev I. V., Pribytkov Yu. V., Kovaleva I. A., Ovchinnikova I. A., OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC»
A detailed study of the performance and optimal choice of abrasive for wet grinding of high-alloyed steels . . . 94

SCENCE OF MATERIALS

Ivanov I. A., Slutsky A. G., Sheinert V. A., Kovalevich E. V., Khlebtsevich V. N., Belarusian National Technical University
Obtaining a cathode target of silicides for vacuum ion-plasma sources . . . 99

Kukareko V. A., Grigorchik A. N., Astrashab E. V., The Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, Lushchik P. E., Belarusian National Technical University
Structural phase state and tribotechnical properties of castings from high-chrome steel 20Cr15Mn3, obtained by technology of precision Sol-Gel casting in ceramic forms . . . 103

Urbanovich N. I., Melnichenko V. V., Baranovsky K. E., Rozenberg E. V., Belarusian National Technical University, Radchenko A. A., Ignatovich Z. V., Institute of Welding and Protective Coatings National Academy of Sciences of Belarus
Study of the effect of modifiers with ultradispersed particles in the coating of the electrode for manual arc welding on the technological parameters in manufacture of the electrode . . . 108

Andrushevich A. A., Aniskovich G. I., Kantor P. L., Kuchuk D. V., Belarusian State Agrarian Technical University
Formation of nanocrystal state in details of carbon structural steels . . . 113

Fedulov V. N., Belarusian National Technical University
New compositions of tool steels for cold and hot forming and their hardening capabilities 119

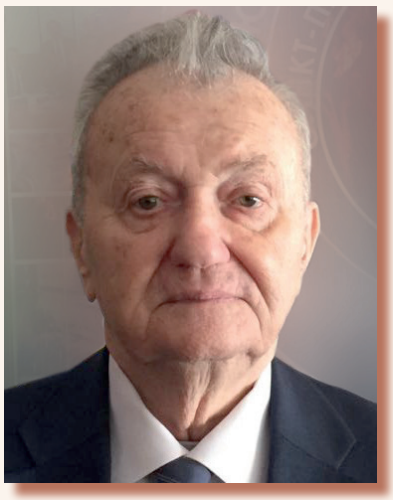
NEWS

Anisovich A. G., Physical-Technical Institute of National Academy of Sciences of Belarus
International Scientific and Technical Conference «Science and Technology of cast iron modification» 124

OBITUARY

In memory of Andrianov N. V. 127

Юбилеем,



Анатолий Антонович ГЕТЬМАН

(к 90-летию со дня рождения)

3 июня 2018 г. исполнилось 90 лет со дня рождения известному ученому- литейщику, Заслуженному деятелю науки и техники, Почетному работнику высшей школы Анатолию Антоновичу Гетьману.

После окончания в 1953 г. металлургического факультета Киевского политехнического института Анатолий Антонович поступил на работу в литейный цех Минского завода отопительного оборудования, где прошел нелегкий путь от мастера до начальника цеха. В 1955 г. переехал в Ленинград и продолжил работу в Гипросантехпроме старшим инженером по проектированию литейных цехов, затем – в Центральном научно-исследовательском институте материалов. В научно-исследовательском институте прошел научную школу под руководством выдающихся ученых: профессора Б. Б. Гуляева, профессора И. А. Шапранова, профессора Н. Н. Белоусова. В 1961 г. защитил кандидатскую, а в 1985 г. – докторскую диссертации.

А. А. Гетьман был руководителем научных исследований на заводах и в нескольких научно-исследовательских институтах, организатором и руководителем лаборатории литейных процессов во Всесоюзном проектно-технологическом институте литейного производства (1962 г.), научно-исследовательских групп целевого назначения на Новосибирском авиационном заводе им. В. П. Чкалова (1967 г.), на заводах «Знамя Октября» (1962 г.), Лентрублит (1965 г.), в научно-исследовательском институте специальных способов литья (1973–1976 гг.).

Научная и инженерная деятельность А. А. Гетьмана посвящена решению крупных научных проблем, а именно, разработке комплекса оборудования и технологии плавки чугуна в вагранках с основной футеровкой подогревом дутья в специальных рекуператорах (1961 г.); технологии изготовления чугунных труб большого диаметра полунепрерывным способом литья (1965 г.); эффективной технологии получения высокоизностойких медистых высокопрочных чугунов с шаровидным графитом (1969 г.); новым технологическим процессам изготовления отливок судовых дизелей, корпусных и цилиндровых отливок компрессоров подводных лодок (1963 г.). Большой вклад А. А. Гетьман внес в исследование процессов кристаллизации и затвердевания высокопрочных чугунов, изучение механических свойств литых деталей из различных сплавов, в теорию формирования усадочных дефектов в отливках и разработку мер борьбы с ними с помощью новых конструкций прибылей, холодильников, рационального расчета литниковых систем. Для внедрения в производство были выпущены руководящие материалы на конструирование деталей из высокопрочного чугуна, ГОСТ и нормали на конструирование стальных и алюминиевых деталей и питания отливок из ВЧ прибылями.

Анатолий Антонович – научный редактор девяти сборников научных трудов Академии наук СССР (1963–1968 гг.) и Академии наук УССР (1968–1971 гг.) по литейным сплавам и теории литейных процессов; пять работ изданы в США (1965–1967 гг.), ФРГ (1967 г.) и Чехословакии (1966–1968 гг.); написано свыше 57 учебных и учебно-методических пособий по совершенствованию подготовки офицеров-инженеров ВМФ.

В 1967 г. по приглашению Президента Академии наук УССР академика Б. Е. Патона А. А. Гетьман работал заместителем директора по научной работе Института проблем литья Академии наук УССР, где проработал до 1973 г. Оценкой работы А. А. Гетьмана за эти годы является статья в жур-

нале «Процессы литья» № 3, 2013 г., где отмечается, что А. А. Гетьман является выдающимся ученым- основателем научной и инженерной школы в области конструирования литых деталей из различных сплавов. Им созданы научные основы конструирования литых деталей, система критериев оценки конструктивно-технологической прочности и надежности деталей из стали, высокопрочного чугуна, алюминиевых и магниевых сплавов; созданы и внедрены эффективные технологии производства отливок ответственного назначения. Опубликовано более 450 научных работ, в том числе в зарубежных изданиях. Его учениками защищено 7 докторских и 27 кандидатских диссертаций.

Ученые и ветераны Института проблем литья (ныне – Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины) высоко ценят вклад А. А. Гетьмана в развитие новых научных направлений исследований литейных процессов, организацию практической реализации в производство, который он внес как заместитель директора по научной работе этого института.

По результатам научно-педагогической деятельности Указом Президента РФ в 1993 г. А. А. Гетьману присвоено звание «Заслуженный деятель науки и техники РФ», в 1996 г. Председателем государственного комитета Российской Федерации по высшему образованию – звание «Почетный работник высшего образования России». Награжден орденом «Почета» и многими медалями.

Желаем Вам, дорогой Анатолий Антонович, крепкого здоровья, плодотворной, активной творческой работы, новых открытий и свершений, а также личного счастья и благополучия!

Редакция журнала «Литье и металлургия»
Ассоциация литейщиков и металлургов

Юбилеем,

Михаил Алексеевич САЙКОВ

(к 65-летию со дня рождения)

26 апреля 2018 г. исполнилось 65 лет директору ОАО «ГОМЕЛЬСКИЙ ЛИТЕЙНЫЙ ЗАВОД «ЦЕНТРОЛИТ» Михаилу Алексеевичу Сайкову.

Михаил Алексеевич свою трудовую деятельность на Гомельском литейном заводе «Центролит» начал в 1974 г., когда после службы в Советской Армии пришел работать инженером отдела главного механика. Затем работал мастером по ремонту оборудования литейного цеха (1975–1977 гг.), механиком литейного цеха (1977–1983 гг.), заместителем начальника цеха по технической части (1983–1985 гг.), заместителем начальника цеха по оборудованию (1985–1986 гг.), начальником литейного цеха (1986–1990 гг.), заместителем директора по качеству продукции ОТК (1990–1995 гг.), заместителем директора по маркетингу и экономике – первым заместителем директора (1995–2003 гг.). С 2003 г. по настоящее время Михаил Алексеевич Сайков работает директором Открытого акционерного общества «ГОМЕЛЬСКИЙ ЛИТЕЙНЫЙ ЗАВОД «ЦЕНТРОЛИТ».

Преодолевая шаг за шагом непростую карьерную лестницу, М. А. Сайков внес огромный вклад в развитие не только завода «ЦЕНТРОЛИТ», но и всей литейной отрасли. В 2006 г. Михаил Алексеевич заслуженно стал кандидатом технических наук. Сегодня он является одним из организаторов литейного производства, уделяет большое внимание подготовке молодых специалистов. Потому закономерным результатом стало открытие на заводе трех кафедр: «Металлургическое производство и материалообработка» ГГТУ им. П. О. Сухого, «Машины и технология литейного производства» БНТУ и «Экономика и управление» ГГУ им. Ф. Скорины.

Под руководством М. А. Сайкова была создана маркетинговая служба, что позволило расширить рынки сбыта. Продукция стала более конкурентоспособной не только на внутреннем, но и на внешнем рынке. За счет умения налаживать деловые связи с представителями зарубежных фирм продукция ОАО «ГЛЗ «ЦЕНТРОЛИТ» поставляется в Финляндию, Литву, Латвию, Эстонию, Россию, Казахстан, Украину, Азербайджан и в другие страны.

М. А. Сайков много внимания уделяет расширению ассортимента выпускаемой продукции, повышению ее качества.

Завод, кроме традиционных отливок для станкостроения, выпускает изделия для городского дизайна, что позволило закрепиться на новом рынке. Малые архитектурные формы, изготовленные на ОАО «ГЛЗ «ЦЕНТРОЛИТ», служат украшением городов Беларуси и России.

Под личным руководством М. А. Сайкова расширено производство чугунных тюбингов: комплекты тюбинговых колец для метростроев г. Минска, Москвы, Баку, Челябинска, а также шахтные тюбинги 7,5/7,0; 8,5/7,8; 9,5/8,8; 10,5/9,8. Разработана и внедрена технология механической обработки чугунных тюбингов для метрополитенов с установкой парка металлорежущего оборудования.

М. А. Сайков постоянно изучает опыт работы ведущих зарубежных фирм и занимается внедрением передовых технологий. При его непосредственном участии решен ряд технических вопросов. Внедрена установка сушки чугунной стружки производительностью 6 т/ч с последующей мокрой очисткой отходящих газов. Данное оборудование улучшило экологическую обстановку, решило проблему использования масло- и влагосодержащей стружки в Гомельском регионе. Сокращено время плавки стружки в индукционных печах, что привело к экономии электроэнергии.

Важным направлением является реализация проекта «Изменение технологии формообразования цеха крупного и среднего литья». Достигнута экономия топливно-энергетических ресурсов за счет снижения расхода природного газа и электроэнергии на сушку песка. Благодаря возможности регенерации отработанной смеси и использованию ее повторно в производственном цикле получен экономический эффект не только за счет экономии материалов, но и улучшена экологическая составляющая.

Исключительное трудолюбие, доброе отношение к коллективу – качества, которые присущи директору ОАО «ГЛЗ «ЦЕНТРОЛИТ» М. А. Сайкову.

От всей души желаем юбиляру крепкого здоровья, долгих лет активной жизни, благополучия, свершения всех надежд и еще много лет плодотворной работы на благо всего литейного производства страны.

Редакция журнала «Литье и металлургия»
Ассоциация литейщиков и металлургов

С Юбилеем,

Леонид Александрович ИСАЕВИЧ

(к 75-летию со дня рождения)

29 марта 2018 г. исполнилось 75 лет доктору технических наук, профессору, профессору кафедры «Машины и технология обработки металлов давлением» Белорусского национального технического университета Леониду Александровичу Исаевичу.

В 1960 г. после окончания средней школы № 5 г. Минска Леонид Александрович работал станочником на Минском автомобильном заводе. В 1962 г. поступил в Белорусский политехнический институт (БПИ) на машиностроительный факультет, который закончил в 1967 г. и получил квалификацию инженера-механика по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты».

После окончания БПИ работал инженером на Минском автомобильном заводе (1967–1970 гг.), затем инженером научно-исследовательского сектора БПИ (1970–1972 гг.).

В 1975 г. Леонид Александрович успешно защитил кандидатскую, а в 1988 г. – докторскую диссертации. В 1990 г. ему было присвоено ученое звание профессора.

С 1991 по 2007 г. Леонид Александрович – заведующий кафедрой «Машины и технология обработки металлов давлением» БНТУ. В настоящее время работает профессором этой же кафедры.

Как высокоэрудированный ученый Л. А. Исаевич отмечен нагрудным знаком «Изобретатель СССР», «Выдатнік адукацыі Рэспублікі Беларусь». В 2005 г. награжден Почетной грамотой Совета Министров Республики Беларусь.

Леонид Александрович имеет 320 публикаций, из них 6 монографий, более 100 авторских свидетельств и патентов. Под его руководством были защищены 11 кандидатских и одна докторская диссертации.

Любовь к научному поиску, чуткость и отзывчивость в отношениях с людьми снискали уважение к нему всех, кто с ним работает и общается.

От всей души желаем Леониду Александровичу крепкого здоровья, благополучия, удачи во всех делах.

Редакция журнала «Литье и металлургия»
Ассоциация литейщиков и металлургов

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 669.154

Поступила 02.05.2018

ПРОБЛЕМА МОДИФИЦИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВО–КРЕМНИЕВОЙ ЭВТЕКТИКИ СИЛУМИНОВ. ПУТИ РЕШЕНИЯ

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

Показано, что современные промышленные модификаторы эвтектики силуминов способствуют насыщению расплава водородом. Его микропузырьки блокируют разветвление эвтектических кристаллов и способствуют образованию в отливках газовой пористости.

Для повышения эффективности процесса модифицирования эвтектики и уменьшения газовой пористости предложен способ наследственного модифицирования. Разработана специальная технология, позволяющая решить проблему модифицирования эвтектики силуминов.

Ключевые слова. *Силумин, эвтектика, литье, отливка, модификатор, наследственное модифицирование, водород, кристаллизатор.*

Для цитирования. *Маркович Е. И., Стеценко В. Ю. Проблема модифицирования алюминиево-кремниевой эвтектики силуминов. Пути решения // Литье и металлурия. 2018. Т. 91. № 2. С. 12–15.*

THE PROBLEM OF MODIFYING AN ALUMINUM–SILICON EUTECTIC ALLOY OF SILUMINS. WAY OF SOLUTIONS

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

It is shown that modern industrial modifiers of silumin eutectic contribute to the saturation of the melt with hydrogen. Its micro bubbles block the branching of eutectic crystals and promote the formation of gas porosity in castings.

To improve the efficiency of the process of modifying the eutectic and reduce the gas porosity, a method of hereditary modification is proposed. A special technology has been developed to solve the problem of modification of silumin eutectic.

Keyword. *Silumin, eutectic, casting, molding, modifier, hereditary modifying, hydrogen, crystallizer.*

For citation. *Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu. The problem of modifying an aluminum-silicon eutectic alloy of silumins. Way of solutions. Foundry production and metallurgy, 2018, vol. 91, no. 2, pp. 12–15.*

Механические и эксплуатационные свойства деталей из силуминов во многом зависят от модифицирования алюминиево-кремниевой эвтектики. Для этого в основном используются натрийсодержащие модификаторы. Это, как правило, хлорид, фторид, карбонат натрия. NaCl взаимодействует с жидким алюминием по реакции:

$$3NaCl + Al = AlCl_3 + 3Na. \quad (1)$$

При этом образуется жидкий натрий и выделяется газообразный хлорид алюминия, который является экологически небезопасным веществом. NaF взаимодействует с жидким алюминием по реакции:

$$6NaF + Al = Na_3AlF_6 + 3Na. \quad (2)$$

При этом образуются жидкий натрий и криолит. Карбонат натрия при температуре модифицирования диссоциирует на оксид натрия и углекислый газ. Na_2O взаимодействует с жидким алюминием по реакции:

$$3Na_2O + 2Al = Al_2O_3 + 6Na. \quad (3)$$

При этом в расплаве образуются микрочастицы оксида алюминия. Их удельный вес больше, чем у жидкого силумина, поэтому при его обработке карбонатами натрия расплав загрязняется оксидом алю-

миния. Для его удаления необходимо проведение операций рафинирования и (или) фильтрования модифицированного жидкого силумина. Но после такой обработки исчезает эффект модифицирования алюминиево-кремниевой эвтектики [1].

В настоящее время не существует единого мнения по механизму действия натрия на процесс кристаллизации алюминиево-кремниевой эвтектики в отливках из силуминов. Большинство исследователей считают, что натрий, растворяясь в силуминовом расправе, непосредственно влияет на процесс зародышеобразования алюминиево-кремниевой эвтектики и морфологию ее кристаллов. Но натрий не растворяется в силумине из-за относительно больших атомного и ионного радиусов. Атомный радиус натрия равен 0,190 нм, алюминия – 0,143, кремния – 0,117 нм. Ионный радиус натрия составляет 0,098 нм, алюминия – 0,057, кремния – 0,039 нм [2]. Не растворяясь в силумине, натрий не может непосредственно влиять на процесс зародышеобразования алюминиево-кремниевой эвтектики и морфологию ее кристаллов.

Натрий в расплаве силумина после его обработки натрийсодержащими модификаторами находится в виде эмульсии. Она образуется вследствие того, что жидкий натрий обладает значительно меньшим поверхностным натяжением, чем расплав силумина [2, 3]. Образование в нем натриевой эмульсии подтверждается тем, что после процесса модифицирования вязкость жидкого эвтектического силумина резко возрастает (примерно в 15 раз) [4]. Натриевая эмульсия обладает относительно низкой устойчивостью, что определяет малое время живучести модифицирующего эффекта. Оно не превышает 25–30 мин. Натриевая эмульсия относительно быстро коагулирует и всплывает на поверхность расплава, где взаимодействует с воздушной атмосферой, причем наиболее интенсивно – с парами воды. В результате происходит следующая реакция:

$$2Na + H_2O = Na_2O + H_2. \quad (4)$$

Молекулы водорода, адсорбируясь поверхностью расплава, расщепляются на атомы, которые проникают в жидкий силумин. В результате происходит его насыщение водородом. Этот процесс ускоряется интенсивной воздушной конвекцией, происходящей над поверхностью расплава. Здесь сильно нагретый и осушенный воздух ускоренно поднимается вверх, а на его место интенсивно поступает более влажный атмосферный воздух, который взаимодействует со всплывающей натриевой эмульсией в соответствии с реакцией (4). В результате процесс насыщения модифицированного расплава силумина происходит непрерывно. Кроме того, образующийся по реакции (4) оксид натрия будет вступать в реакцию с алюминием в соответствии с реакцией (3). При этом образуются оксид алюминия и жидкий натрий. Частицы Al_2O_3 будут тонуть в силуминовом расплаве, а жидкий натрий – взаимодействовать с парами воды по реакции (4). В результате этих процессов расплав силумина после его модифицирующей обработки относительно быстро насыщается неметаллическими включениями Al_2O_3 и водородом. Он, как известно, не растворяется в твердом силумине, поэтому полностью выделяется при эвтектической реакции. На самом деле происходит газоэвтектическая реакция:

$$\text{Жидкий силумин} \rightarrow \alpha\text{-фаза (Al)} + \beta\text{-фаза (Si)} + H_2. \quad (5)$$

При этом микропузырьки водорода, выделяясь на фронте кристаллизации, непосредственно влияют на процесс образования алюминиево-кремниевой эвтектики, препятствуя ее разветвлению. Кроме того, происходит слияние микропузырьков водорода в более крупные пузыри, что способствует образованию газовой и газоусадочной пористости. Этот процесс зависит от скорости затвердевания расплава. Чем она ниже, тем соответственно в отливке меньше газовой и газоусадочной пористости, и наоборот.

Установлено, что натриевая эмульсия имеет непосредственное отношение к процессу выделения микропузырьков водорода при газоэвтектической реакции [5]. Они термодинамически предпочитают выделяться не на кристаллах алюминиево-кремниевой эвтектики, а на натриевой эмульсии. В результате интенсивность выделения водорода на кристаллах алюминиево-кремниевой эвтектики существенно снижается, что способствует процессу ее разветвления, т. е. модифицированию. Если производить рафинирование и (или) фильтрование силуминового расплава после его обработки натрийсодержащими модификаторами, то устраняется натриевая эмульсия и исчезает эффект модифицирования алюминиево-кремниевой эвтектики. Вибрация ускоряет коагуляцию натриевой эмульсии и способствует ее всплыванию, что также снижает эффективность процесса модифицирования силумина.

В настоящее время проблему модифицирования алюминиево-кремниевой эвтектики натрийсодержащими модификаторами пытаются решить с помощью специальных покровных флюсов. Но они лишь замедляют насыщение расплава неметаллическими включениями Al_2O_3 и водородом, но не устраняют

этого процесса. При заливке в литейные формы расплава силумина, обработанного натрийсодержащими модификаторами, покровные флюсы его не защищают. В результате интенсифицируются процессы насыщения формирующихся отливок частицами оксида алюминия и водородом.

Решить проблему модифицирования алюминиево-кремниевой эвтектики натрийсодержащими модификаторами можно лишь отказавшись от них. Для этого используют стронцийсодержащие модификаторы. В основном это лигатура Al – Sr (10% Sr). Стронций, как и натрий, не растворим в силумине из-за относительно больших атомного и ионного радиусов. У стронция атомный радиус составляет 0,216 нм, а его ионный радиус – 0,127 нм. Температура плавления стронция равна 770 °С. Поэтому в расплаве силумина он находится в виде микроскопических коллоидных частиц. Они образуются вследствие того, что жидкий стронций обладает значительно меньшим поверхностным натяжением, чем силуминовый расплав [2, 3]. В отличие от натриевой эмульсии стронциевый коллоид более устойчив в жидком силумине, так как их плотности примерно одинаковы [2, 3]. Поэтому время живучести процесса модифицирования с применением стронция значительно выше, чем при использовании натрия. Но длительные выдержки расплава, обработанного стронцийсодержащей лигатурой, приводят к газонасыщению жидкого силумина по следующей реакции:

$$Sr + H_2O = SrO + H_2. \quad (6)$$

Здесь работает тот же механизм, что и в случае с натрийсодержащим модификатором. Оптимальное содержание стронция для получения максимального модифицирующего эффекта составляет 0,05% [6]. Но при этом в силуминовом слитке резко возрастает количество пор [1]. В отличие от натрия, который полностью выгорает при переплаве модифицированного возврата, стронций накапливается в отливке, что приводит к демодифицированию алюминиево-кремниевой эвтектики. Содержание стронция в силумине не должно превышать 0,1% [6]. Механизм модифицирования алюминиево-кремниевой эвтектики стронциевым коллоидом такой же, как натриевой эмульсией. Эффект перемодифицирования при содержании в расплаве натрия и стронция выше 0,1% можно объяснить тем, что в этом случае ускоряются процессы коагуляции и дисперсность систем снижается. Это приводит к сокращению поверхностей, на которых выделяются микропузырьки водорода при газоэвтектической реакции. Они в большей степени начинают образовываться на кристаллах алюминиево-кремниевой эвтектики, снижая ее разветвленность и соответственно эффект модифицирования. Если рафинировать и (или) фильтровать жидкий силумин после его обработки стронцийсодержащим модификатором, то исчезнет стронциевый коллоид и исчезнет эффект модифицирования. Вибрация будет ускорять коагуляцию стронциевого коллоида, что снизит эффективность процесса модифицирования алюминиево-кремниевой эвтектики.

Решить проблему модифицирования алюминиево-кремниевой эвтектики натрийсодержащими и стронцийсодержащими модификаторами (примесное модифицирование) можно лишь отказавшись от них. Для этого в Институте технологии металлов НАН Беларуси разработан метод наследственного модифицирования. Он основан на явлении структурной наследственности, при которой микроструктура шихтовых силуминов после их переплава наследуется получаемыми отливками. В настоящее время при литье доэвтектических и эвтектических силуминов в основном используется плохая структурная наследственность. Используемые шихтовые материалы (чушковые слитки и возврат) имеют, как правило, крупнокристаллическую микроструктуру, которая при их переплаве наследуется получаемыми отливками. Поэтому и применяется примесное модифицирование – использование натрий- и стронцийсодержащих модификаторов. Чтобы его избежать, необходимо в качестве шихтовых материалов использовать мелкокристаллический возврат. Установлено, что при его добавлении в шихту или расплав в количестве более 20% получаются отливки из силуминов с модифицированной эвтектикой [5]. Время живучести процесса наследственного модифицирования зависит от дисперсности и морфологии кристаллов эвтектического кремния. Чем они мельче и глобулярны, тем более устойчивы в расплаве. Установлено, что если в качестве шихтовых материалов использовать отливки из силумина с глобулярным эвтектическим кремнием дисперсностью 1–4 мкм, то время живучести процесса наследственного модифицирования составляет 2–3 ч. Это позволило разработать новую перспективную технологию, которая дает возможность решить проблему модифицирования алюминиево-кремниевой эвтектики при литье силуминов. Технология основана на способе литья в кристаллизатор с затопленно-струйной системой охлаждения [5]. Этот способ, при прочих равных гидравлических параметрах, позволяет увеличить коэффициент теплоотдачи от охлаждаемой поверхности к охладителю более чем в 2 раза, что происходит благодаря уменьшению толщины гидродинамического и теплового пограничных слоев. Линейная скорость затвер-

девания отливок диаметром 100 мм из эвтектического силумина в кристаллизаторе с затопленно-струйной системой охлаждения в среднем в 3 раза выше, чем таких же отливок, но в обычном (щелевом) кристаллизаторе. Это обеспечивает получение алюминиево-кремниевой эвтектики с глобулярными кристаллами кремния дисперсностью 2–3 мкм без применения примесных модификаторов. Такой процесс литья позволяет использовать вибрацию глуходонного кристаллизатора для дегазации силуминового расплава в процессе его затвердевания.

Производительность процесса циклического литья в глуходонный кристаллизатор с затопленно-струйной системой охлаждения, рабочей втулкой с внутренним диаметром 100 мм и высотой 300 мм составляет в среднем 1,4 т/ч. При попеременном литье в два таких кристаллизатора производительность литья будет составлять 3 т/ч, что позволит обеспечить необходимыми шихтовыми отливками любой заводской цех литья и решить проблему модифицирования алюминиево-кремниевой эвтектики силуминов. Эта проблема впервые была решена на опытном литейном участке Института технологии металлов НАН Беларуси. Имея соответствующий опыт, институт может помочь литейным цехам и участкам предприятий решить проблему модифицирования алюминиево-кремниевой эвтектики силуминов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Задруцкий С. П., Неменёнок Б. М., Королев С. П. и др.** Рафинирование и модифицирование алюминиевых сплавов // Литейное производство. 2004. № 3. С. 17–20.

2. **Свойства элементов: справ**. Ч. 1 / Под ред. Г. В. Самсонова. М.: Металлургия, 1976.

3. **Строганов Г. Б., Ротенберг В. А., Гершман Г. Б.** Сплавы алюминия с кремнием. М.: Металлургия, 1977.

4. **Боом Е. А.** Природа модифицирования сплавов типа силумин. М.: Металлургия, 1972.

5. **Марукович Е. И., Стеценко В. Ю.** Модифицирование сплавов. Минск: Беларуская навука, 2009.

6. **Вахобов А. В., Ганиев И. Н.** Стронций – эффективный модификатор силуминов // Литейное производство. 2000. № 5. С. 28–29.

REFERENCES

1. **Zadruckij S. P., Nemenenok B. M., Korolev S. P.** i dr. Rafinirovanie i modificirovanie aljuminievyh splavov [Refinement and modifying of aluminum alloys]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production*, 2004, no. 3, pp. 17–20.

2. ***Svojstva*** *jelementov: spravochnik* [Properties of elements: reference]. p. 1 / Pod redakciej G. V. Samsonova. Moscow, Metallurgija Publ., 1976.

3. **Stroganov G. B., Rotenberg V. A., Gershman G. B.** *Splavy aljuminija s kremniem* [Aluminum alloys with silicon]. Moscow, Metallurgija Publ., 1977.

4. **Boom E. A.** *Priroda modificirovaniya splavov tipa silumin* [The nature of modifying of alloys like silumin]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1972.

5. **Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu.** *Modificirovanie splavov* [Modifying of alloys]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2009.

6. **Vahobov A. V., Ganiev I. N.** Stroncij – jeffektivnyj modifikator siluminov [Strontium – the effective modifier of silumin]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production*, 2000, no. 5, pp. 28–29.

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.74

Поступила 15.04.2018

ХОЛОДНОТВЕРДЕЮЩИЕ СМЕСИ НА НЕОРГАНИЧЕСКОМ СВЯЗУЮЩЕМ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ (НЕОРГАНИКА ПРОТИВ ОРГАНИКИ)

С. С. ТКАЧЕНКО, Г. А. КОЛОДИЙ, Ассоциация литейщиков Санкт-Петербурга и Ленинградской обл., г. Санкт-Петербург, Россия, Большой Сампсониевский проспект, 45А. E-mail: spblenal@mail.ru,
Л. Г. ЗНАМЕНСКИЙ, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия,
А. А. ЕРМОЛЕНКО, завод специальной химии, г. Челябинск, Россия

Сравниваются технологии литья в формы из холоднотвердеющих смесей на основе органических смол и неорганических металлофосфатных связующих. Применение последних предпочтительнее по ряду технологических показателей. Также без дополнительных вложений полностью решается проблема охраны труда и окружающей среды.

Ключевые слова. *Литье в формы из ХТС, неорганические связующие, алюмоборфосфатный концентрат (АБФК), высокоэффективная экологически безопасная технология.*

Для цитирования. *Ткаченко С. С. Холоднотвердеющие смеси на неорганическом связующем: состояние и перспективы развития (неорганика против органики / С. С. Ткаченко, Г. А. Колодий, Л. Г. Знаменский, А. А. Ермоленко // Литье и металлургия. 2018. Т.91. № 2. С. 16–22.*

COLD MIXTURE OF INORGANIC BINDER: STATUS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT (INORGANIC VS. ORGANIC)

S. S. TKACHENKO, G. A. KOLODIY, The Association of Foundres of St. Petersburg and Leningrad region, St. Peterburg, Russia, 45A, Sampsonievsky pr. E-mail: spblenal@mail.ru,
L. G. ZNAMENSKY, South-Ural State University, Russia, A. A. ERMOLENKO, Chelyabinsk, Russia

The technologies of molding from cold-hardening mixtures based on organic resins and inorganic metal phosphate binders are compared. The use of the latter is preferable for a number of technological indicators. Also, without additional investments, the problem of labor and environmental protection is completely solved.

Keywords. *Molding in the form of CHM, inorganic binder, alumoboratphosphate concentrate, highly effective and environmentally safe technology.*

For citation. *Tkachenko S. S., Kolodiy G. A., Znamensky L. G., Ermolenko A. A. Cold mixture of inorganic binder: status and prospects of development (Inorganic vs. organic). Foundry production and metallurgy, 2018, vol. 91, no. 2, pp. 16–22.*

В свое время развитие машиностроения востребовало огромное количество однотипных отливок, обеспечить которое оказалось способным литье в разовые песчаные формы. Невозможно переоценить его значение сегодня и отказать ему в будущем: до 80% отливок изготавливаются именно этим способом.

В середине XX в. происходит «революция» в технологии формы, связанная с возможностью упрочнения смесей без теплового воздействия. Формы и стержни из холоднотвердеющих смесей на основе жидкого стекла свободны от недостатков песчано-глинистых форм, кроме неудовлетворительной выбиваемости, требующей значительных затрат энергии и труда. Инженерная мысль обратилась к изысканиям, направленным на наиболее полное раскрытие возможностей холодного твердения. Последовавшее развитие формовочных технологий представляло собой «состязание» неорганических и органических связующих для ХТС.

К настоящему времени устоявшимся взглядом стало признание преимуществ органических связующих [1]. Органика оказалась способной устранить издержки «жидкостекольной революции» – затрудненную выбиваемость. Кроме того, к ее преимуществам относятся способность отверждаться с образо-

ванием прочных структур; облегченная регенерация смесей; в 3–5 раз меньший расход по сравнению с неорганикой.

Распространенное мнение возводит преимущества органических связующих в абсолютную степень. Абсолютизация проявляется в том, что сейчас в подавляющем большинстве случаев в литейных цехах вообще не осведомлены о существовании перспективных неорганических связующих. Считается, что очевидные преимущества органики способны нивелировать их «несущественные» недостатки, связанные с повышенной газотворностью и ухудшенными санитарно-гигиеническими условиями [2].

Среди неорганических материалов, обладающих необходимыми для литейного производства вяжущими свойствами, были выделены и хорошо изучены кислые соли фосфорной кислоты – металлофосфаты [3]. Основой значительного количества вяжущих систем являются фосфаты алюминия: их водные растворы характеризуются повышенной вязкостью, адгезией к различным материалам и способностью образовывать прочные структуры уже при невысоких температурах, сохраняя прочность при нагревании [4].

ВПТИ «Литпром» (СПб.) совместно с институтом «Гипроцемент» (СПб.) был разработан процесс, использующий в качестве связующего алюмоборфосфатный концентрат (АБФК) – смесь кислых фосфатов алюминия и бора, и порошок-отвердитель на основе оксида магния. Состав АБФК представлен формулой $B_nAl_{4-n}(H_2PO_4)_{12}$, где n = 1, 2, 3; также присутствует небольшое количество других солей ортофосфорной кислоты $B_nAl_{4-n}(HPO_4)_n$ и $B_nAl_{4-n}(PO_4)_4$. Процесс отверждения смеси описывается уравнением:

$$B_{2n}Al_{2(4-n)}(H_2P_2O_7)_{12}\cdot 11H_2O + 23MgO \rightarrow 2B_nAl_{4-n}(PO_3)_{12} + 23Mg(OH)_2.$$

К преимуществам смеси относятся:

- возможность использования песков с повышенной глинистой составляющей;
- возможность использования отработанной смеси после механической регенерации;
- возможность использования универсального оборудования;
- возможность приготовления смеси при отрицательных температурах;
- отсутствие прилипаемости смеси к оснастке;
- высокая прочность форм и стержней;
- низкая газотворность;
- высокая газопроницаемость;
- высокая огнеупорность;
- высокие антипригарные свойства;
- минимальная трудоемкость выбивки форм и очистки отливок;
- высокое качество отливок;
- практически полное отсутствие вредных выбросов.

Основные свойства смеси приведены в табл. 1.

Таблица 1. **Физико-механические свойства ХТС на активированном АБФК**

Свойства	Показатель
Прочность при сжатии, МПа:	
через 1 ч	0,45–0,67
через 3 ч	1,2–1,4
через 24 ч	4–5
Прочность при разрыве, МПа:	
через 1 ч	0,10–0,15
через 3 ч	0,35–0,40
через 24 ч	0,8–1,0
Живучесть, мин	8–25
Газопроницаемость, ед.	150–180
Осыпаемость,%	0,05–0,1
Остаточная прочность, МПа	0,01–0,05
Влажность,%	1,5–2,0
Газотворность, $см^2/г$	2,5–3,0

Твердение смеси на АБФК происходит в течение 1 ч, что приемлемо для индивидуального и серийного производств. Управлять кинетикой твердения можно как количеством отвердителя, так и подбором его свойств в соответствии с требованиями технологии.

Рис. 1. Формы для стальных отливок

Важнейшей характеристикой АБФК является высокая огнеупорность (до 1900 ºС). Ее следствием во многом выступает термохимическая стойкость смесей, исключающая образование пригара. По отсутствию пригара АБФК не уступает органике и существенно превосходит жидкое стекло. Антипригарные свойства АБФК используются для производства на его основе специальных покрытий [5], в том числе и для литья по газифицируемым моделям [6]. Свойства покрытий приведены в табл. 2.

Таблица 2. **Свойства противопригарного покрытия для стержней и форм на активированном АБФК**

Свойства	Показатель
Седиментационная устойчивость через 24 ч	95–98
Вязкость, с	12–17
Живучесть, мин	20–30
Продолжительность твердения, мин	60–120
Остаточная влажность через 24 ч, %	3,5
Газопроницаемость, ед.	30–40

Неорганическая природа АБФК обусловливает характеристики смеси, обеспечивающие высокое качество готовых отливок. В отличие от органических связующих неорганика при нагреве претерпевает изменения, не сопровождающиеся интенсивной газификацией и завершающиеся переходом в устойчивую форму. Низкая газотворная способность ХТС на основе АБФК, с одной стороны, ее высокая газопроницаемость – с другой, исключают диффузию образующихся при заливке металла газов в отливку, снижая количество газовых пороков. На рис. 1, 2 показаны формы и стержни для производства стальных отливок.

К важнейшим технологическим преимуществам смесей относятся отсутствие прилипаемости к оснастке и отличная выбиваемость отливок. В свое время применение алюмофосфатных связующих ограничивалось непродолжительным сроком хранения. Введение в состав соединений бора позволило получить устойчивые при хранении жидкости с меньшей кислотностью, существенно лучшими адгезионными свойствами и прочими важными технологическими характеристиками [7]. Решение оказалось комплексным: образующийся при нагревании формы BPO_4 после формирования отливки и при последующем охлаждении до 500 ºС и ниже распадается на B_2O_3 и P_2O_5, что вызывает эффект разупрочнения форм и улучшение условий удаления из них отливок [8]. Выбиваемость форм и стержней из смесей на основе АБФК выделяется как одно из несомненных преимуществ. Это свойство также используется при производстве специальной добавки для жидкостекольных смесей.

Введение соединений бора обеспечило длительность хранения связующего без предъявления требований к их условиям. Гарантийный срок хранения – один год, по истечении которого анализируется состав и принимается решение о возможности дальнейшего использования. Возможно использование АБФК при значительных отрицательных температурах. Ни одно из органических связующих в таких условиях не применяется.

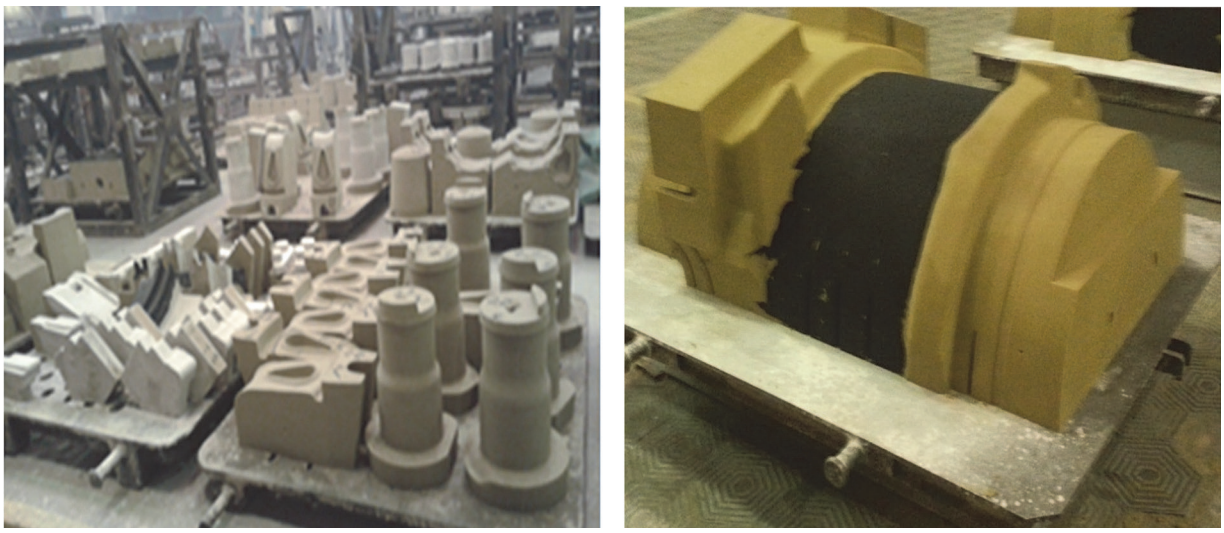


Рис. 2. Стержни для производства стальных отливок

Гидролитическая неустойчивость стержней, как следствие небольшого количества легко разрушающихся во влажной атмосфере поперечных связей макромолекулы фосфатного полимера, исключающая длительное хранение, предотвращается использованием противопригарных красок.

Преимуществом органики считается низкий расход, оправдывающий высокую стоимость. Органические смола и катализатор представляют собой низковязкие жидкости с хорошей смачивающей способностью, что при работе на специальном оборудовании обеспечивает возможность равномерного распределения незначительных доз по песчаной массе. Более высокий расход неорганического связующего обусловлен его вязкостью и, как следствие, недостаточной смачивающей способностью. Кроме того, рекомендованный в свое время расход АБФК предусматривал двукратную избыточную прочность стержней и форм.

Очевидным решением станет снижение расхода материалов до обеспечения оптимальной прочности: 3–4% для связующего и 0,9–1,2% для отвердителя. Дальнейшее снижение расхода возможно за счет улучшения смачивающей способности и придания смеси подвижности. Это достигается разведением АБФК водой и введением в состав композиции поверхностно-активных веществ. Расход связующего снижается до 2,5%. Содержание влаги в смеси после этого не превышает 2%, т. е. сушка не потребуется. Кроме того, введение поверхностно-активных веществ придает смеси пластичные свойства, что позволяет точно воспроизводить отпечаток модели. Другим важным следствием пластичности является податливость стержней, предотвращающая образование горячих трещин при усадке охлаждающейся отливки [4].

Улучшение смачивающей способности АБФК также может быть достигнуто обработкой ультразвуком: расход снижается до 2% при существенном повышении когезионной прочности. Ультразвуковые технологии в литейном производстве изучены и применяются [9].

Следует учитывать нетребовательность АБФК к качеству песков: содержание глинистой составляющей до 2% не ухудшает показателей процесса и не повышает расход связующего. Использование недорогих необогащенных формовочных песков компенсирует более высокий расход АБФК по сравнению с органическими связующими, стабильно работающими на песках с содержанием глинистой составляющей не более 0,4%.

При наличии источника вторичных периклазовых огнеупоров возможно их вовлечение в переработку для производства отвердителя. Использование внутренних источников понизит стоимость всего процесса на 10–15%. В ценах 2017 г. неорганическая технология не дороже альфа-сет-процесса и в 1,5–1,8 раза дешевле фуран-процесса.

Высокая эффективность процесса дополняется простотой необходимого оборудования. Для приготовления смеси используются стационарные смесители для самотвердеющих смесей непрерывного действия (мод. 4727); в условиях единичного и малосерийного производства применяются смесители периодического действия (производство ОАО «БЕЛНИИЛИТ»); при проведении опытно-промышленных работ возможно использование бегунов, растворо- и бетономешалок. Существует предложение специального оборудования, а также решение для дополнения действующих смесителей узлом подачи порошкообразного отвердителя. Уплотнение смеси осуществляется на вибростолах; достаточно механической реге-

нерации отработанных смесей. Экономические преимущества процесса на основе АБФК приведены в табл. 3.

Таблица 3. **Экономическое обоснование внедрения ХТС на активированном АБФК для ремонтного литья**[1]

Наименование статей затрат	Экономия по статьям	
	на 1 т годных отливок, тыс. руб.	на годовой объем литья (194 т), млн руб.
Основные и вспомогательные материалы	1,3	0,24
Энергия	2,6	0,48
ФЗП и отчисления на страхование	0,86	0,16
Содержание и эксплуатация оборудования	1,72	0,32
Потери от брака	1,72	0,32
Общецеховые расходы	0,43	0,08
Итого	8,3	1,6

Возможно применение ХТС на основе АБФК в литье по нагреваемой оснастке; известна технология использования АБФК взамен этилсиликата для литья по выплавляемым моделям [9].

С газотворной способностью связующих непосредственно связана атмосфера цехов. Органические смолы при разложении выделяют кубометры отравляющих и канцерогенных веществ. Неорганические связующие свободны от таких недостатков. Аргументы об экологии принято относить к категории разговоров в пользу бедных: пока стоимость процесса дешевле конкурирующего, никакие соображения экологичности последнего не заставят собственников и руководителей отказаться от возможности платить меньше.

Тем не менее, за минувшие 25 лет деиндустриализации изменилось общественное сознание населения. Промышленное производство теперь воспринимается как абсолютное зло, не допустить которого следует любой ценой. Мировоззренческий сдвиг сопровождался радикальным изменением экологического законодательства. Теперь оно обязывает агентов экономики осуществлять экологическую экспертизу проектов, обязательным элементом которой является участие общественности. И эта процедура вовсе не является формальной. Известен ряд крупных несостоявшихся проектов, инвесторы и организаторы которых, несмотря на финансовую дееспособность, не смогли убедить население[2]. Невозможно усомниться в бескорыстии организующих протесты населения правозащитников, но и без коммерческой составляющей экологической деятельности реализованные проекты оказываются обремененными издержками, упущенной выгодой, долговой нагрузкой и репутационными потерями.

Другим следствием деиндустриализации, кроме общего сокращения промышленного производства, стало дробление экономики. На площадях остановленных цехов и заводов появилось достаточное количество небольших производителей. По состоянию на 2013 г. количество предприятий с объемом выпуска отливок от 1000 до 5000 т в год составляло 34%, менее 1000–44% [10].

Как правило, их финансовые возможности ограничены, внешнее же давление с этими ограничениями не считается. Отсутствие средств для приобретения эффективного газоочистного оборудования затрудняет деятельность на арендованной территории до полной невозможности. Преимущественно эти площадки расположены в городской черте и отличаются высокой стоимостью и арендными ставками. Также они привлекательны для девелоперов: на территории легендарного ЗИЛа построен новый жилой комплекс. Менее дорогая недвижимость находится в небольших городах или сельской местности и зачастую примыкает к жилой застройке. Кубометры формальдегида сообщат населению о характере нового соседства. Далее запускается известный механизм: обращения в природоохранную прокуратуру и т. д. Использование неорганических связующих полностью освобождает от таких рисков и неприятностей.

Таким образом, ни по одному из показателей ХТС на основе неорганического связующего АБФК не уступает наиболее массовым органическим смолам, а по ряду параметров превосходит их. Технология универсальна, нетребовательна и реализуема на любом смесительном оборудовании. Стоимость материалов дешевле распространенных органических связующих. Применение технологии особенно актуально для небольших предприятий, так как не влечет за собой дополнительных расходов, зато способно освободить от рисков экологического характера. Существуют дополнительные возможности использования АБФК в различных видах литья. Возникает вопрос о причинах так называемого «фосфатного парадок-

[1] Предприятие в Челябинской области; в ценах 2015 г.

[2] Строительство цинкового завода в Оренбургской области Русской медной компанией, ферросплавного завода в Красноярском крае компанией Чек-Су.ВК, горно-обогатительного комбината в Воронежской области Уральской горно-металлургической компанией. Под вопросом пуск Томинского ГОКа в Челябинской области Русской медной компанией.

са» [11] – забвении технологии и отказе отечественной промышленности от использования фосфатных связующих.

Начало промышленного внедрения технологии (1992 г.) совпало с периодом деиндустриализации. Производство литья в стране за минувшие годы сократилось в 4,5 раза, количество заводов и цехов – почти в 3 раза. Ликвидированы практически все отраслевые НИИ. В то же время даже катастрофически сжавшаяся промышленность осталась перспективным рынком сбыта западных технологий и оборудования. С начала XXI в. их импорт увеличился в 9 раз [10]. Очевидно, что проводниками западной технологической мысли стали высококвалифицированные кадры ликвидированных научно-исследовательских и проектно-технологических организаций. Их знания, навыки, опыт и связи в совокупности с маркетинговыми и финансовыми возможностями западных корпораций и стали залогом успешности органики.

В 2007 г. прекратил свою деятельность ВПТИ «Литпром». Тогда же было остановлено опытное производство Гипроцемента. К исходу первого десятилетия XXI в. процесс остался без системного сопровождения – возможности обобщения и распространения заводской практики, а сжавшийся отечественный рынок достался органике. В этом и заключается причина так называемого фосфатного парадокса.

В связи с этим существует объективная потребность в развитии процесса литья в ХТС на АБФК и его широком применении на отечественных предприятиях как альтернативы «заемных» ХТС на органических связующих. Это требование времени, тем более, что за рубежом такая тенденция четко просматривается (система CORDIS).

В рамках Ассоциации литейщиков Санкт-Петербурга и Ленинградской области (ЛенАЛ) совместно с уральским производителем специальной химии сформулировано комплексное предложение технологически совершенного, экологически безопасного и экономически эффективного процесса на основе модифицированной смеси из алюмофосфатного связующего и периклазсодержащих отвердителей. Предложение включает аудит действующей технологии и оборудования, рекомендации по его использованию, подбор состава смеси и сопровождение процесса. За консультациями обращаться: aph.binder@gmail.com, Тел. +73435215700.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Технология** литейного производства: литье в песчаные формы / Под ред. А. П. Трухова. М.: Изд. центр «Академия», 2005. 113 с.

2. **Технология** литейного производства: формовочные и стержневые смеси / Под ред. С. С. Жуковского. Брянск: Изд-во БГТУ, 2002. 184 с.

3. **Металлофосфатные** связующие и смеси / Под общ. ред. И. Е. Илларионова. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1995. 524 с.

4. **Судакас Л. Г.** Фосфатные вяжущие системы. СПб.: РИА «Квинтет», 2008. С. 141, 249.

5. **Колодий Г. А., Ткаченко С. С., Кривицкий В. С.** Перспектива применения фосфатных холоднотвердеющих смесей // Литейщик России. 2004. № 8. С. 23–24.

6. **Знаменский Л. Г., Ивочкина О. В., Варламов А. С., Франчук А. Н., Южакова А. А.** Отечественные краски для литья по газифицируемым моделям // Вестн. ЮУрГУ. Сер. Металлургия. 2017. Т. 17. № 1. С. 58–64.

7. **Красный Б. Л.** Огнеупорные и строительные материалы на основе фосфатных связующих: дис. … д-ра техн. наук. М., 116 с.

8. **Знаменский Л. Г., Верцюх С. С., Варламов А. С., Судариков М. В.** Корундовые формы на алюмоборфосфатном концентрате в точном литье // Вестн. ЮУрГУ, 2012. № 39.

9. **Электроимпульсная** и ультразвуковая обработка материалов в точном литье / Л. Г. Знаменский, О. В. Ивочкина, Б. А. Кулаков, В. В. Крымский. Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2010. 259 с.

10. **Дибров И. А.** Состояние и перспективные технологии литейного производства России // Литейщик России. 2013. № 9.

11. **Литейные** формовочные материалы. Формовочные стержневые смеси и покрытия / А. Н. Болдин, Н. И. Давыдов, С. С. Жуковский и др. М.: Машиностроение, 2006. 230 с.

REFERENCES

1. ***Tehnologija*** *litejnogo proizvodstva: lit'jo v peschanye formy* [Technology of foundry: Casting in sand molds.]. Moscow, Izdatel'skij centr «Akademija» Publ., 2005, 113 p.

2. ***Tehnologija*** *litejnogo proizvodstva: formovochnye i sterzhnevye smesi* [Foundry technology: Molding and core mixtures]. Brjansk, BGTU Publ., 2002, 184 p.

3. ***Metallofosfatnye*** *svjazujushhie i smesi* [Metallophosphate binders and mixtures]. Cheboksary, Chuvashskij universitet Publ., 1995, 524 p.

4. **Sudakas L. G.** *Fosfatnye vjazhushhie sistemy* [Phosphate binders]. Sankt-Peterburg, RIA «Kvintet» Publ., 2008, pp. 141, 249.

5. **Kolodij G. A., Tkachenko S. S., Krivickij V. S.** Perspektiva primenenija fosfatnyh holodnotverdejushhih smesej [The prospect of using phosphate cold-hardening mixtures]. *Litejshhik Rossii = Foundry of Russia*, 2004, no. 8, pp. 23–24.

6. **Znamenskij L. G., Ivochkina O. V., Varlamov A. S., Franchuk A. N., Juzhakova A. A.** Otechestvennye kraski dlja lit'ja po gazificiruemym modeljam [Domestic paints for casting gasified models]. *Vestnik JuUrGU. Serija «Metallurgija» = Bulluten JuUrGU. Series «Metallurgy»*, 2017, Vol. 17, no. 1, pp. 58–64.

7. **Krasnyj B. L.** *Ogneupornye i stroitel'nye materialy na osnove fosfatnyh svjazujushhih. Diss. dokt. techn. nauk* [Refractory and building materials based on phosphate binders. Dr. techn. Sci. diss.]. Moscow. 116 p.

8. **Znamenskij L. G., Vercjuh S. S., Varlamov A. S., Sudarikov M. V.** Korundovye formy na aljumoborfosfatnom koncentrate v tochnom lit'e [Corundum forms on aluminoborhosphate concentrate in precise casting]. *Vestnik JuUrGU = Bulluten JuUrGU*, 2012, no. 39.

9. **Znamenskij L. G., Ivochkina O. V., Kulakov B. A., Krymskij V. V.** *Jelektroimpul'šnaja i ul'trazvukovaja obrabotka materialov v tochnom lit'e* [Electropulse and ultrasonic treatment of materials in precise casting]. Cheljabinsk, izdatel'skij centr JuUrGU Publ., 2010, 259 p.

10. **Dibrov I. A.** Sostojanie i perspektivnye tehnologii litejnogo proizvodstva Rossii [Status and perspective technologies of foundry production in Russia]. *Litejshhik Rossii = Foundry of Russia*, 2013, no. 9.

11. **Boldin A. N., Davydov N. I., Zhukovskij S. S.** *Litejnye formovochnye materialy. Formovochnye sterzhnevye smesi i pokrytija* [Foundry molding materials. Molded core mixtures and coatings]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2006, 230 p.

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.74.045

Поступила 02.05.2018

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО КАК СРЕДА ДЛЯ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В. С. ДОРОШЕНКО, Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев, Украина, ул. Бульвар Вернадского, 34/1. E-mail: doro@gmail.com

Описаны два вероятных прототипа так называемых природоподобных технологий литейного производства. Для литья по ледяным моделям используют минеральные компоненты при изготовлении оболочковых песчаных форм, а модель удаляют из формы путем таяния и естественной фильтрации ее расплава сквозь пористую песчаную смесь литейной формы, которая отверждается на глубину фильтрации путем гидратации замешанных в смеси гипса и цемента. Приведены возможности конструирования тонкостенных отливок, подобных структурам природы.

Ключевые слова. *Литейное производство, природоподобные технологии, литье по ледяным моделям, литье по газифицируемым моделям, фильтрация, оболочковая форма, фильтрационная формовка.*

Для цитирования. *Дорошенко В. С. Литейное производство как среда для природоподобных технологий // Литье и металлургия. 2018. Т. 91. № 2. С. 23–28.*

FOUNDRY PRODUCTION AS AN ENVIRONMENT FOR NATURE–LIKE TECHNOLOGIES

V. S. DOROSHENKO, Physical-Technological Institute of metals and alloys National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine, Kyiv city, 34/1, Bulvar Vernadskogo. E-mail: doro@gmail.com

The review describes two possible prototypes of so-called nature-like technologies of foundry production. For casting on ice patterns, mineral components are used in the manufacture of shell sand molds, and the pattern is removed from the mold by melting and naturally filtering its melt through a porous sand mixture of the mold that cures to the depth of filtration by hydration of the gypsum and cement mixed into the mixture. Also, the possibilities of constructing thin-walled castings similar to natural structures are described.

Keywords. *Foundry production, nature-like technologies, casting on ice patterns, casting on gasified patterns, lost foam casting, filtration, shell mold, filtration molding.*

For citation. *Doroshenko V. S. Foundry production as an environment for nature-like technologies. Foundry production and metallurgy, 2018, vol. 91, no. 2, pp. 23–28.*

Научно-технологическое развитие сегодня во многом связано с созданием принципиально новых, так называемых природоподобных технологий (ПТ), которые будут повторять процессы живой природы и дадут нам экономичный, как в самой природе, уровень потребления ресурсов, помогут создать новую техносферу – не потребительскую, хищнически относящуюся к природе, выкачивающую из нее все, любой ценой, как за последние две сотни лет, а более гармоничную, экономичную, на принципах соединения органического и неорганического мира, живого и неживого [1, 2]. Мы построили комфортную для человека цивилизацию, техносферу, паразитируя на базе и ресурсах биосферы Земли, которая существовала миллионы лет до появления в ней человека абсолютно самодостаточно и гармонично. Индустриальная же цивилизация всего лишь за 200 лет своего существования поставила мир на порог ресурсного коллапса. Один лишь пример свидетельствует, что за антропогенную историю было израсходовано примерно 200 млрд. т кислорода. Такое же количество кислорода было израсходовано за последние 50 лет индустриальной эры [1].

Причиной сложившейся кризисной ситуации является антагонизм природы и созданной человеком техносферы, которая нарушила естественный ресурсооборот – своеобразный обмен веществ природы, создав технологии, враждебные ей. Эти технологии, будучи вырванными из естественного природного контекста, по сути, служат плохими копиями отдельных элементов природных процессов и базируются

Рис. 1. Энергия, затрачиваемая на производство материалов [3]

Рис. 2. Воздействие на окружающую среду подотраслей черной металлургии [4]

на узкоспециализированной модели науки и отраслевых технологиях. В целом такое развитие было неизбежно и закономерно, но в итоге масштабы влияния человека на окружающий мир перешли критическую границу. Все чаще звучит мысль о том, что сегодняшний глобальный кризис не может быть разрешен по прежним фундаментальным лекалам нашей цивилизации, в существующей парадигме ее развития. Нужен качественный скачок, переход на иные принципы, прежде всего производства и потребления энергии, а также бережного отношения к окружающей среде, которые изменят облик всей техносферы.

Современные технологии требуют огромного количества энергии, которое существующая альтернативная энергетика не способна выработать. По данным проф. Г. Г. Малинецкого, на производство стали затрачивается наибольшая доля энергии среди затрат на производство важнейших материалов в мире (рис. 1) [3]. При этом отмечается, что экстенсивное развитие недопустимо, поскольку, если весь мир выйдет на уровень выплавки стали на душу населения сегодняшних стран-лидеров 500 кг в год, то к 2050 г. человечество практически исчерпает все разведанные запасы железной руды на земле [3].

В частности, обращаясь к интегральному воздействию на природную среду черной металлургии России, известно, что оно почти в 1,5 раза больше, чем такое воздействие энергетики страны [4]. При этом структура воздействий по подотраслям черной металлургии на окружающую природную среду носит ярко выраженный асимметричный характер (рис. 2). Наибольший вклад в формирование отраслевых воздействий вносит литейное производство черных металлов – 79%, существенно меньший и почти равный вклад имеют две подотрасли – добыча руд черных металлов (8%) и выпуск стали и метизов (9%). Меньше всего отраслевых воздействий на среду формируют производство кокса и огнеупоров (1%), а также труб и проката – 2% (рис. 2).

Выйти из этого технологического тупика предстоит с помощью науки, которая уже сегодня стремится создавать принципиально новые технологии ресурсосбережения и потребления энергии по образцу живой природы – природоподобные технологии. Смысл создания природоподобной техносферы состоит в восстановлении естественного самосогласованного ресурсооборота, нарушенного сегодняшними технологиями.

В стремлении наследовать такой ресурсооборот, находить пути его инициирования [7] в ФТИМС НАН Украины создана технология литья по ледяным моделям. В этой технологии агрегатные переходы воды (из жидкого в твердое, опять в жидкое и затем в газообразное) при замораживании литейной модели из воды, плавлении модели при освобождении полости литейной формы, а затем испарении влаги при сушке песчаной формы в какой-то мере подобны кругообороту воды в природе [6–8]. Отдельные моменты отработки процесса литья звездочки конвейера по ледяным моделям показаны на рис. 3.

Материальная сторона технологии литья по ледяным моделям заключается в использовании неорганических материалов: воды в различных состояниях, минерального дисперсного наполнителя – кварцевого песка и минеральных связующих – гипса и цемента, порошка термически обработанных природных пород, из которых их получают. Цемент состоит из клинкера и при необходимости гипса или его производных и добавок. Полученные из цементных минералов и воды (путем фильтрации расплава модели в окружающую ее насыпную виброуплотненную сухую смесь) твердые соединения кристаллогидратов водостойки, т. е. нерастворимы в воде. Отверждение сыпучей смеси, возникшее в результате фильтрации (естественной или принудительной путем создания давления или разрежения в формовочной смеси) и химической реакции цемента с водой, относится к процессам так называемой фильтрационной формовки. Цемент и гипс облегчают выбиваемость смесей из отливок, так как при нагреве от отливки они дегидратируются (аналогично процессу их получения), и смеси разупрочняются. Такие песчано-кристаллогидратные смеси способны вновь отверждаться в контакте с водой, что позволяет использо-

Рис. 3. Иллюстрации из процесса литья звездочки конвейера: *а* – отдельные ледяные модели, блок (кластер) из двух моделей и двух отливок; *б* – блок из трех моделей и многослойная песчаная оболочка; *в* – блоки из четырех разных моделей; *г*, *д* – блоки из двух и четырех моделей; *е* – песчаные оболочки по одной и двум моделям; *ж* – оболочка по двум моделям, блок моделей и распиленная оболочка; *з* – блок моделей и распиленная толстостенная песчаная оболочка

вать их как оборотные отверждаемые смачиванием расплавом ледяных моделей смеси с освежением кварцевым песком до 10% [9].

ПТ – часть логичного процесса развития науки, начавшегося от древних греков и натурфилософов древнего мира, которые пытались найти единые закономерности окружающего мира, природы. Затем человек создал физику, химию, биологию, прочие науки, число которых росло, чтобы легче изучать эти узкие направления. По пути этого углубленного анализа, разделения окружающего мира на все более мелкие детали мы дошли, как говорят в микроэлектронике, до предела миниатюризации [1].

Многие вещи, явления, процессы изучены досконально, но в то же время зашли в тупик, перестав рассматривать природу как единое целое, самодостаточный организм, существовавший за миллиарды лет до возникновения человека. Мы создавали три сотни лет новый, удобный окружающий мир, укрощая природу. Но к концу XX в. вмешательство человека в природу стало критическим. Построенная нами цивилизация оказалась враждебной, антагонистической нашей биосфере, громадная по затратам ресурсов и количеству отходов, не совместимых с окружающей средой. Мы оказались на пороге ресурсного коллапса, энергетического кризиса, три столетия хищнически истощая недра земли, добывая уголь, нефть, газ. Для развития цивилизации нужен новый технологический уклад, эффективный в потребле-

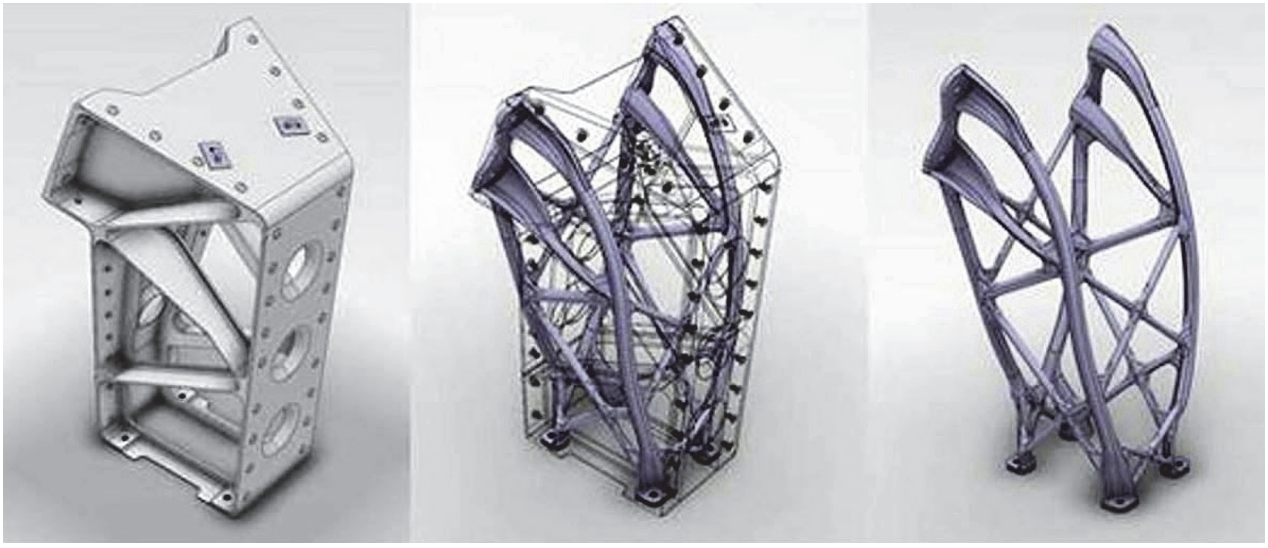
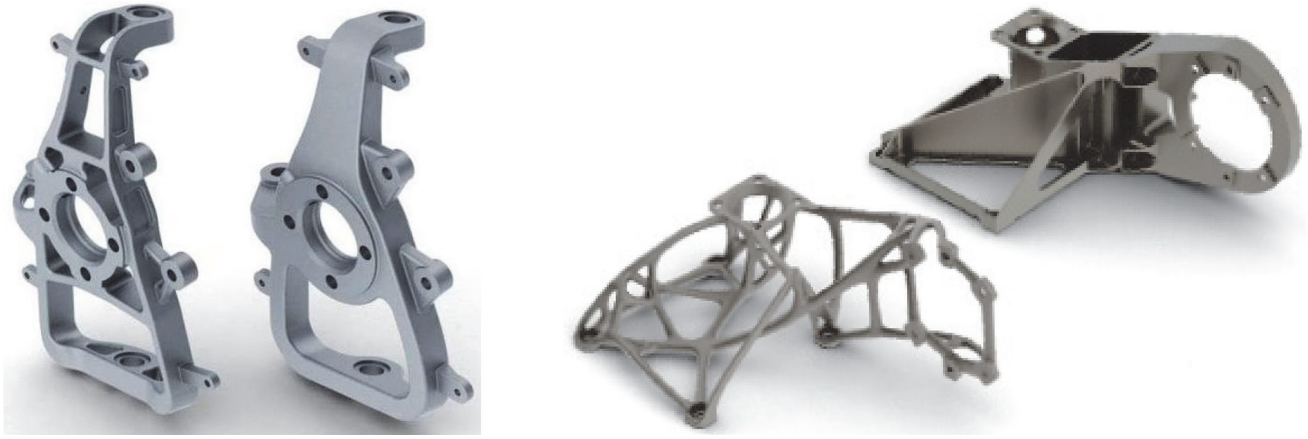


Рис. 4. Трансформация кронштейна компанией Airbus Defense and Space



а *б*

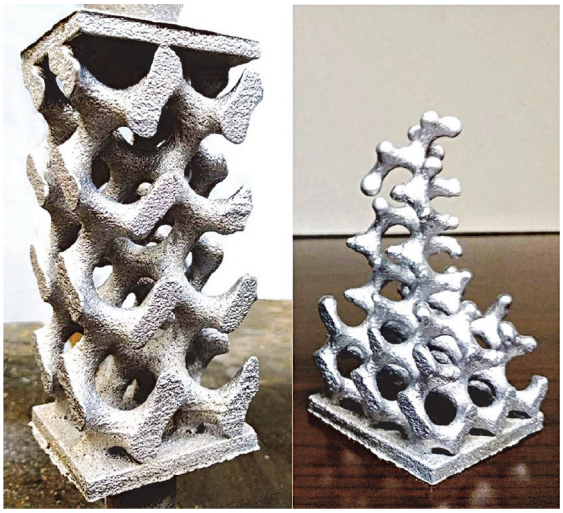
Рис. 5. Две традиционные металлоотливки и их легковесные варианты

нии энергии, как природа, дружественный ей, основанный на ее принципах. Узкоспециализированная наука, технологии, с которыми мы жили раньше и построили современную цивилизацию, завели нас в глобальный тупик. Значит, от узкой специализации надо перейти к принципиально иному подходу. И развитие науки само этот переход, можно сказать, выкристаллизовало.

В конце XIX в., когда процесс разделения на все новые науки был в самом разгаре, начали возникать науки-связки, науки-мостики: геохимия, физикохимия, биофизика и др. От анализа мы перешли к синтезу наук. Развивается новое направление конвергенции: мы пытаемся соединить новейшие технологии с конструкциями, принципами живой природы [10–13].

Особенно быстро это стало применятся в авиационных и космических аппаратах. Так, в 2015 г. компания Airbus Defense and Space в Великобритании объявила о выпуске первой в своем классе алюминиевой 3D-печатной отливки для спутника Eurostar E3000 (рис. 4) [14]. Видоизмененный кронштейн весит на 35% меньше, чем тот, которого он заменил, с увеличением жесткости на 40%.

Главные отличия предложенных человеком инженерных конструкций от созданных эволюционными процессами живой и неживой природы состоят в высокой ресурсоэффективности последних. Сегодня «эволюцию» в направлении металлосбережения и оптимизации конструкции способен выполнить компьютер. Среди таких примеров показано перепроектирование инжиниринговым центром CompMechLab (Россия) цифровыми технологиями топологической оптимизации кулаков подвески автомобиля (рис. 5, *а*) в целях снижения массы автомобильных отливок, а также кронштейна рефлектора (рис. 5, *б*) [15]. Легковесные «трансформированные» конструкции показаны на рис. 5 в каждой паре слева. Аналогичные конструкции предложено также изготавливать методом литья по газифицируемым моделям [11–13].



а *б*

Рис. 6. Отливки ячеистой конструкции с разной степенью заполнения металлом песчаной формы аддитивного производства: *а* – отливка решетки, так называемой гироидной конструкции; *б* – «недолив» такой же отливки

На рис. 6 показаны на различных этапах примеры отработки получения ячеистых алюминиевых отливок габаритных размеров 63,5×63,5×139,7 мм и массой 0,5 кг с разной степенью заполнения металлом такой литейной формы [16].

Подобные гироидные структуры присутствуют в клетках растений и животных, в отдельных блок-сополимерах при конденсации олигомеров. Узоры на разбухших от воды ладонях ученые объясняют гироидной организацией «скелета» этих складок из волокон кератина, которые в коже уложены так, как будто они находятся в полостях гироида. Гироидная поверхность относится классу известных в математике периодических минимальных поверхностей, полученных повторением некоторой элементарной ячейки, что ранее использовано для конструирования отливок в работах [13, 17].

Изготовление таких путотелых песчаных литейных форм без применения твердых моделей, а лишь по математическим моделям компьютерных программ подтверждает значительные возможности аддитивного производства [16, 18]. С ним могут конкурировать лишь технологии литья по разовым моделям, в частности, наиболее экономичные по затратам: сегодняшняя технология литья по газифицируемым моделям и перспективная – по ледяным моделям [19].

Приведенные примеры технологий и конструкций из области литейного производства могут служить прообразами составляющей научно-технологической информации постепенно формирующейся базы для природоподобной техносферы. Речь идет не просто о моделировании, а о стремлении научиться воспроизводить ПТ, которые не наносят урон окружающему миру, а существуют с ним в гармонии и со временем позволят восстановить нарушенный человеком баланс между биосферой и техносферой [1]. С их помощью прогнозируется создание под заказ новых материалов и систем как для машиностроения, средств транспорта, связи, других отраслей, так и для охраны окружающей среды и новой энергетики, которые станут органической частью природы, включенной в ее естественный ресурсооборот.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ковальчук М. В., Нарайкин О. С.** Природоподобные технологии – новые возможности и новые угрозы // Индекс безопасности. 2016. № 3–4 (118–119). Т. 22. С. 103–108.

2. **Дорошенко В. С.** О природоподобных технологиях для точного литья // Литейщик России. 2018. № 2. С. 22–28.

3. **Малинецкий Г. Г.** Технологии в России: Мы проиграли настоящее, нужно думать о будущем. ИА REGNUM. 5.10.2016. URL: https://regnum. ru/news/2188550. html (дата обращения: 25.04.2018).

4. **Мартынов А. С., Артюхов В. А., Забелин С. И.** и др. Энергопотребление и экоэнергетическая эффективность отраслей экономики РФ // Черная металлургия. Интерфакс-ЭРА. 25.01.2013. URL: https:// interfax-era. ru/metodologiya/analiticheskie-obzory/chernaya-metallurgia (дата обращения: 25.04.2018).

5. **Шинский О. И., Дорошенко В. С.** Процессы песчаной формовки с использованием градиентов давления, температуры и концентрации реагентов в формовочной смеси // Процессы литья. 2017. № 5. С. 56–65.

6. **Дорошенко В. С.** Структура исследований по разработке технологии литья по ледяным моделям с использованием ряда особенностей и природных явлений // Процессы литья. 2017. № 1. С. 39–46.

7. **Дорошенко В. С.** Разработка технологии литья по ледяным моделям с использованием явлений, наблюдаемых в природе // Литейщик России. 2017. № 1. С. 13–18.

8. **Дорошенко В. С.** Градиентный механизм упрочнения песчаных форм в природоподобных технологиях литейного производства // Экологический вестник России 2018. № 4. С. 48–53.

9. **Формовочные** материалы и смеси / С. П. Дорошенко, В. П. Авдокушин, К. Русин, И. Мацашек. Киев: Выща шк., 1990; Прага: СНТЛ. 415 с.

10. **Дорошенко В. С.** Примеры гармонизации с природой технических и декоративных отливок // Литейное производство. 2016. № 9. С. 30–37.

11. **Дорошенко В. С.** Воспроизведение структур природы как метод получения ресурсосберегающих металлоконструкций // Вестн. ДДМА. 2014. № 1. С. 43–49.

12. **Дорошенко В. С.** Черпать ресурсосберегающий потенциал, воспроизводя структуры природы // Строительные и дорожные машины. 2014. № 7. С. 31–37.

13. **Дорошенко В. С.** Проектирование легковесных литых каркасно-ячеистых металлоконструкций с помощью моделирования структур природы // LAP Lambert Academic Publishing. Saarbruücken, 2015. 54 с.

14. **3D-printing** in space – Be AMAZEd // Advancing aerospace materials. 2016. № 11. URL: http://www. airbus. com/newsroom/news/en/2016/10/composites-silicon-carbide. html (дата обращения: 25.04.2018).

15. **CML-отчет:** в Санкт-Петербурге прошла Петербургская техническая ярмарка 28 марта 2018 г. URL: http://fea.ru/news/6713 (дата обращения: 25.04.2018).

16. **Walker J., Harris E., Lynhh C.** et al. 3D Printed Smart Molds for Sand Casting 15.02.2018. URL: https://link. springer. com/article/10.1007%2Fs40962–018–0211-x#citeas (дата обращения: 25.04.2018).

17. **Дорошенко В. С.** Математическое проектирование каркасно-ячеистых отливок // Литейное производство. 2013. № 2. С. 9–12.

18. **Дорошенко В. С.** 3D-технологии для формовки и литья // Литье и металлургия. 2015. № 3. С. 30–39.

19. **Дорошенко В. С., Бердыев К. Х.** Сравнительный расчет экономических затрат на изготовление песчаных форм по газифицируемым и ледяным моделям в литейном производстве // Экологический вестник России. 2011. № 10. С. 42–47.

REFERENCES

1. **Kovalchuk M. V., Naraykin O. S.** Prirodopodobnyie tehnologii – novyie vozmozhnosti i novyie ugrozyi [Nature-like technologies – new opportunities and new threats]. *Indeks bezopasnosti = Safety index*. 2016, no. 3–4 (118–119), Vol. 22, pp. 103–108.

2. **Doroshenko V. S.** O prirodopodobnyih tehnologiyah dlya tochnogo litya [On the nature-friendly technologies for precision casting]. *Liteyschik Rossii = Russian Foundryman*, 2018, no. 2, pp. 22–28.

3. **Malinetskiy G. G.** Tehnologii v Rossii: Myi proigrali nastoyaschee, nuzhno dumat o buduschem [Technology in Russia: We lost the present, we need to think about the future]. IA REGNUM. 5.10.2016. URL: https:// regnum. ru/news/2188550. html (data obrascheniya: 25.04.2018).

4. **Martyinov A. S., Artyuhov V. A., Zabelin S. I. et. al.** Energopotreblenie i ekoenergeticheskaya effektivnost otrasley ekonomiki RF. Chernaya metallurgiya [Energy consumption and eco-energy efficiency of the Russian economy. Ferrous metallurgy]. Interfaks-ERA. 25.01.2013. URL: https://interfax-era. ru/metodologiya/analiticheskie-obzory/chernaya-metallurgia (data obrascheniya: 25.04.2018).

5. **Shinskiy O. I., Doroshenko V. S.** Protsessyi peschanoy formovki s ispolzovaniem gradientov davleniya, temperaturyi i kontsentratsii reagentov v formovochnoy smesi [Processes of sand molding using pressure gradients, temperature and concentration of reagents in a molding mixture]. *Protsessyi litya = Foundry Processes*, 2017, no. 5, pp. 56–65.

6. **Doroshenko V. S.** Struktura issledovaniy po razrabotke tehnologii litya po ledyanyim modelyam s ispolzovaniem ryada osobennostey i prirodnyih yavleniy [Structure of research on the development of casting technology for ice models using a number of features and natural phenomena]. *Protsessyi litya = Foundry Processes*, 2017, no. 1, pp. 39–46.

7. **Doroshenko V. S.** Razrabotka tehnologii litya po ledyanyim modelyam s ispolzovaniem yavleniy, nablyudaemyih v prirode [Development of casting technology for ice models using phenomena observed in nature]. *Liteyschik Rossii = Russian Foundryman*, 2017, no. 1, pp. 13–18.

8. **Doroshenko V. S.** Gradientnyiy mehanizm uprochneniya peschanyih form v prirodopodobnyih tehnologiyah liteynogo proizvodstva [Gradient mechanism of hardening of sand forms in nature-like technologies of foundry production]. *Ekologicheskiy vestnik Rossii = Ecological Herald of Russia*, 2018, no. 4, pp. 48–53.

9. **Doroshenko S. P., Avdokushin V. P., Rusin K., Matsashek I.** *Formovochnyie materialyi i smesi* [Molding materials and mixtures]. Kiev, Vyischa shkola Publ., 1990; Praga, SNTL Publ., 415 p.

10. **Doroshenko V. S.** Primery garmonizatsii s prirodoy tehnicheskih i dekorativnyih otlivok [Examples of harmonization with the nature of technical and decorative castings]. *Liteynoe proizvodstvo = Foundry production*, 2016, no. 9, pp. 30–37.

11. **Doroshenko V. S.** Vosproizvedenie struktur prirodyi kak metod polucheniya resursosberegayuschih metallokonstruktsiy [Reproduction of nature's structures as a method of obtaining resource-saving metal structures]. *Vestnik DDMA = Herald of DDMA*, 2014, no. 1, pp. 43–49.

12. **Doroshenko V. S.** Cherpat resursosberegayuschiy potentsial, vosproizvodya strukturyi prirodyi [To draw resource-saving potential by reproducing the structures of nature]. *Stroitelnyie i dorozhnyie mashinyi = Construction and road mashines*, 2014, no. 7, pp. 31–37.

13. **Doroshenko V. S.** Proektirovanie legkovesnyih lityih karkasno-yacheistyih metallokonstruktsiy s pomoschyu modelirovaniya struktur prirodyi [Designing light-weight cast frame-cellular metal structures by modeling natural structures]. *LAP Lambert Academic Publishing. Saarbruücken*, 2015. 54 p.

14. **3D-printing** in space – Be AMAZEd. *Advancing aerospace materials*. 2016, no. 11. – URL: http://www.airbus.com/newsroom/news/en/2016/10/composites-silicon-carbide. html (data obrascheniya: 25.04.2018).

15. **CML-otchet:** v Sankt-Peterburge proshla Peterburgskaya tehnicheskaya yarmarka 28 Marta 2018 g. [CML-report: St. Petersburg technical fair was held in St. Petersburg on March 28, 2018] URL: http://fea.ru/news/6713 (data obrascheniya: 25.04.2018).

16. **Walker J., Harris E., Lynhh C.** et al. 3D Printed Smart Molds for Sand Casting 15.02.2018. URL: https://link. springer. com/article/10.1007%2Fs40962–018–0211-x#citeas (data obrascheniya: 25.04.2018).

17. **Doroshenko V. S.** Matematicheskoe proektirovanie karkasno-yacheistyih otlivok [Mathematical Design of Frame-Cell Castings]. *Liteynoe proizvodstvo = Foundry production*, 2013, no. 2, pp. 9–12.

18. **Doroshenko V. S. 3D**-tehnologii dlya formovki i litya [3D-technologies for molding and casting]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2015, no. 3, pp. 30–39.

19. **Doroshenko V. S., Berdyiev K. H.** Sravnitelnyiy raschet ekonomicheskih zatrat na izgotovlenie peschanyih form po gazifitsiruemyim i ledyanyim modelyam v liteynom proizvodstve [Comparative calculation of economic costs for the production of sand molds for gasified and ice models in foundry production]. *Ekologicheskiy vestnik Rossii = Ecological Herald of Russia*, 2011, no. 10, pp. 42–47.

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.745

Поступила 18.04.2018

СОЗДАНИЕ СОБСТВЕННОЙ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ДЛЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

С. Л. РОВИН, УП «Технолит», г. Минск, Беларусь, ул. Я. Коласа, 24. E-mail: technolit@tut.by,
Л. Е. РОВИН, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, г. Гомель, Беларусь, пр. Октября, 48. E-mail: kaf_metallurgy@gstu.by,
А. С. КАЛИНИЧЕНКО, Л. П. ДОЛГИЙ, В. А. ШЕЙНЕРТ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: akalinichenko@bntu.by

Статья посвящена проблеме переработки дисперсных металлоотходов, образующихся на машиностроительных предприятиях. Предлагаемое решение проблемы – рециклинг в ротационных наклоняющихся печах (РНП) с получением высококачественных шихтовых материалов (шихтовых слитков) или литейных сплавов непосредственно на предприятиях, где эти отходы образуются. Представлены результаты опытно-экспериментальных плавок серого чугуна в индукционной тигельной печи с заменой традиционных шихтовых материалов на чушку, полученную из стружки, окалины, шлама и т.п. в РНП.

Ключевые слова. *Рециклинг, дисперсные металлоотходы, ротационные наклоняющиеся печи, шихтовые материалы для литейного производства.*

Для цитирования. *Ровин, С. Л. Создание собственной сырьевой базы для литейного производства машиностроительных предприятий / С. Л. Ровин, Л. Е. Ровин, А. С. Калиниченко, Л. П. Долгий, В. А. Шейнерт // Литье и металлургия, 2018. Т. 91. № 2. С. 29–36.*

CREATION OF OWN RAW–MATERIAL BASE FOR FOUNDRY PRODUCTION ON MACHINE–BUILDING ENTERPRISES

S. L. ROVIN, «Technolit» Co, Minsk, Belarus, 24, Kolasa str. E-mail: technolit@tut.by,
L. E. ROVIN, Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoj, Gomel, Belarus, 48, Octyabrya ave. E-mail: kaf_metallurgy@gstu.by,
A. S. KALINICHENKO, L. P. DOLGY, V. A. SHEINERT, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: akalinichenko@bntu.by

The article is devoted to the problem of processing dispersed metal wastes, generated at machine-building enterprises. The proposed solution of the problem is recycling in rotary tilting furnaces (RTF) with the production of high-quality charge materials (charge ingots) or foundry alloys directly at the enterprises where these wastes are formed. The results of experimental meltings of gray iron in induction crucible furnace with the replacement of traditional charge materials with ingots, obtained from chips, scale, sludge, etc. in the RTF are presented.

Keywords. *Recycling, dispersed metal wastes, rotary tilting furnaces, charge materials for foundry production.*

For citation. *Rovin S. L., Rovin L. E., Kalinichenko A. S., Dolgy L. P., Sheinert V. A. Creation of own raw-material base for foundry production on machine-building enterprises. Foundry production and metallurgy, 2018, vol. 91, no. 2, pp. 29–36.*

Введение

Одной из глобальных проблем современного литейного производства является дефицит и рост цен на качественные шихтовые материалы. В то же время абсолютное большинство литейных цехов на постсоветском пространстве входит в структуру машиностроительных предприятий, чье металлургическое и металлообрабатывающее производство являются источником большого количества разнородных металлоотходов, большую часть которых составляют дисперсные отходы, содержащие железо (стружка, мелкий скрап, отходы дроби, окалина, шламы, аспирационная пыль плавильных и механических участков и т.д.). При этом только кусковой лом (бракованные детали и отливки, литниково-питающие системы, элементы металлоконструкций, изношенное и демонтированное оборудование и т.п.) и в определен-

ной степени стружка и скрап (55–60%) возвращаются в производство [1]. Что же касается оксидных и многокомпонентных металлоотходов, то все они, практически в полном объеме, остаются в отвалах предприятий, не только безвозвратно исчезая из металлооборота, но и создавая серьезную экологическую угрозу. Традиционное оборудование, которым располагают сегодня литейные цеха, не позволяет рентабельно перерабатывать дисперсные материалы. В то же время многие из этих отходов (не только стружка, но и окалина, шламы, некоторые аспирационные пыли) по содержанию железа не уступают и даже превосходят железорудные концентраты (табл. 1).

Таблица 1. **Химический состав (%) характерных железосодержащих отходов белорусских машиностроительных предприятий**

Наименование отходов (завод-источник)	$Fe_{мет}$	$Fe_{общ}$	FeO	Fe_2O_3	C	Mn	Cr	Ni	Cu	S	Si	P
Стружка углеродистой стали (ОАО «МАЗ»)	95,2	97,0	1,0	1,5	0,42	0,6	0,25	0,2	0,15	0,03	0,3	0,03
Стружка чугунная (ОАО «МЗОО»)	81	87,0	4,2	3,6	3,4	0,8	0,08	0,08	0,03	0,12	1,8	0,17
Пыль распиловки заготовок (ОАО «ММЗ», г. Могилев)	76,4	84,1	3,0	9,0	0,93	0,61	0,08	0,06	0,18	0,5	0,3	0,01
Пыль аспирационная механической обработки (ОАО «МТЗ»)*	13,0	59,0	30,6	31,8	0,6	0,65	0,25	0,15	0,12	0,05	0,5	0,03
Шлам металлообработки (ОАО «МТЗ»)*	49,7	63,2	6,3	12,4	0,6	0,64	0,12	0,12	0,15	0,06	0,21	0,04
Пыль аспирационная ДСП СЛЦ (ОАО «МАЗ»)**	0,4	24,9	13,7	20	1,7	2,4	0,8	0,2	0,1	0,35	0,28	0,03
Аспирационная пыль вагранок (ОАО «МАЗ»)**	–	18,5	16,5	8,1	36,3	0,55	0,2	–	–	2,4	16,2	0,06
Шлам инструментального пр-ва (Гомсельмаш)*	47,1	52,7	3,6	4,0	3,2	0,92	1,8	0,7	0,2	0,02	0,15	0,03
Окалина кузнечного цеха (ОАО «МПЗ»)	2,3	73,0	61	34,3	0,15	0,43	0,04	0,05	0,15	0,02	0,13	0,01
Пыль аспирационная дробеструйного устройства (ОАО «МТЗ»)	36	80,6	38,0	22,0	0,42	0,89	0,14	0,07	0,20	0,02	0,52	0,05
Рудный концентрат	0,8	69,5	60,1	34,2								

* В пыли и шламах металлообработки содержится до 15–30% абразива, состоящего на 90–92% из Al_2O_3, в шламах инструментального производства содержится до 8–10% соединений легирующих элементов: V, W, Mo, Ti и др.

** В состав пыли аспирационной плавильных печей входят также SiO_2, Al_2O_3, CaO, MgO, ZnO и др.

Рециклинг дисперсных металлоотходов в ротационных наклоняющихся печах

Перспективу комплексного решения проблемы утилизации дисперсных металлосодержащих отходов машиностроительных предприятий открывает применение ротационных наклоняющихся печей (РНП). РНП нового поколения с управляемым вектором газового потока, разработанные научно-производственным предприятием «Технолит» в сотрудничестве с ГГТУ им. П. О. Сухого, позволяют эффективно перерабатывать разнородные дисперсные отходы как черных, так и цветных сплавов, в том числе оксидные и многокомпонентные, без их подготовки (очистки, сушки, гомогенизации) и окомкования, с получением высококачественных шихтовых материалов (слитков) или литейных сплавов (рис. 1) [2].

В отличие от обычных короткобарабанных печей с прямолинейным движением газов в разработанных РНП поток движется по сложной винтовой петлеобразной траектории, что обеспечивает многократное увеличение пути и соответственно времени пребывания горячих газов в рабочем пространстве печи. Во вращательном движении скорости газового потока относительно поверхности материала в 5–8 раз превышают его осевую скорость, достигая 25–30 м/с, что интенсифицирует конвективный теплообмен между газами и материалом и благодаря циклонному эффекту позволяет значительно (в 1,5–2,0 раза) уменьшить вынос из печи мелких фракций. Дисперсный материал в РНП, вращающихся под углом 12–18°

а *б* *в*

Рис. 1. Ротационные печи, разработанные УП «Технолит»: *а* – РНП для переработки чугунной стружки, ОАО «ГЛЗ «ЦЕНТРОЛИТ»« (г. Гомель); *б* – РНП для рециклинга свинца, ЗАО «КПВР СПЛАВ» (г. Рязань, РФ); *в* – опытно-промышленная РНП для рециклинга окалины и металлургического шлама, ОАО «БМЗ» (г. Жлобин)

к горизонту, в отличие от барабанных печей с горизонтальной осью вращения интенсивно перемешивается не только в радиальном, но и в осевом направлении. Постоянное обновление (перемешивание) слоя и его интенсивная продувка турбулентным газовым потоком многократно ускоряют процессы массопереноса и теплообмена: в РНП объемный коэффициент теплопередачи (α_v) достигает 2000–3000 Вт/(м^3·К), что почти на три порядка выше, чем в неподвижном слое материала в стационарных печах отражательного типа, где α_v = 3–5 Вт/(м^3·К). Тепловой КПД РНП при нагреве и расплавлении дисперсных материалов достигает 50–55%, что в 2–3 раза выше, чем в индукционных, дуговых или короткобарабанных печах [3].

К преимуществам РНП относятся возможность работы на жидком и газообразном топливе, применение в качестве восстановителей любых углеродсодержащих материалов, в том числе отходов (например, отсева кокса или лигнина), относительно низкая стоимость и простота изготовления, компактность, удобство обслуживания, высокая степень управляемости и активного ведения металлургических процессов.

Применительно к дисперсным железосодержащим отходам РНП позволяют реализовать следующие технологические схемы рециклинга [4]:

• Высокотемпературный безокислительный нагрев стружки и мелкого скрапа с последующим использованием горячей стружки при плавке металла в индукционных печах, при расходе природного газа в пределах 8–14 м^3/т продолжительность нагрева стружки до 700–800 ºС составляет 15–20 мин, при этом удельные затраты электроэнергии на расплавление стружки снижаются в среднем на 220–250 кВт·ч/т.

• Переплавку металлических отходов (стружки, металлической пыли, мелкого скрапа и т. п.), которая включает в себя высокотемпературный безокислительный нагрев, расплавление, при необходимости науглероживание, выдержку, скачивание шлака и выдачу расплава в разливочный ковш или изложницы. Окисление металла при нагреве предотвращается благодаря высокой скорости нагрева (60–80 К/мин) и поддержанию восстановительной атмосферы в печи (добавление в завалку 6–8% твердого восстановителя и сжигание топлива с коэффициентом избытка воздуха α = 0,85–0,9), продолжительность плавки составляет 40–50 мин (примерные удельные затраты материалов и энергоносителей на процесс плавки чугунной и смешанной стружки приведены в табл. 2).

• Восстановительную плавку оксидных и многокомпонентных отходов (окалины, аспирационной пыли, шламов и т.п.), которая в общем случае может быть условно разделена на два основных этапа: I – нагрев и твердофазное восстановление (ТВФ) железосодержащих отходов в восстановительной атмосфере (сжигание топлива осуществляется с α = 0,6–0,7) в присутствии твердого восстановителя (отсев кокса, угля, антрацита, лигнина и т.п.) при температуре 1100–1200 °С, продолжительность этой стадии – 2,5–3 ч в зависимости от степени окисленности исходного сырья, по окончании ТВФ степень металлизации достигает 70–80%; II – повышение температуры до 1700–1800 °С (путем обогащения дутья кислородом до общего содержания 27–29%), расплавление, окончательное жидкофазное восстановление, при необходимости науглероживание расплава, выдержка до прекращения кипа, отделение шлака и слив металла в разливочный ковш или изложницы, продолжительность этой стадии – 40–50 мин.

Удельный расход железосодержащего сырья, флюсов, восстановителя, энергоносителей на восстановительную плавку изменяется пропорционально содержанию железа ($Fe_{общ}$) в исходном сырье (табл. 2). Выход металла составляет 85–90% от теоретически возможного, т.е. от общего содержания железа в перерабатываемых отходах.

Таблица 2. **Удельные затраты материалов и энергоносителей на получение 1 т металла из железосодержащих отходов в РНП**

Материалы и энергоносители	Удельный расход	
Железосодержащее сырье, кг	стружка 1050–1100	окалина 1550–1700
Восстановитель – коксик, электродный бой, отсев угля, лигнин, кг	70–90	600–700
Флюсы – известняк, доломит, плавиковый шпат, кг	55–65	100–150
Топливо – природный газ, м^3	80–90	200–220
Кислород, м^3	10–15	35–45
Электроэнергия, кВт·ч	5–6	15

Использование шихтовых материалов, полученных в РНП, для выплавки марочных литейных сплавов в электропечах

Полученный в результате рециклинга в РНП металл в зависимости от поставленной задачи может быть разлит в слитки (чушку) с последующим использованием в качестве шихты в традиционных пла-

вильных агрегатах литейных цехов; передан в жидком виде в электропечи для доводки – получения химического состава, соответствующего марочным сплавам; доведен до заданного состава непосредственно в РНП.

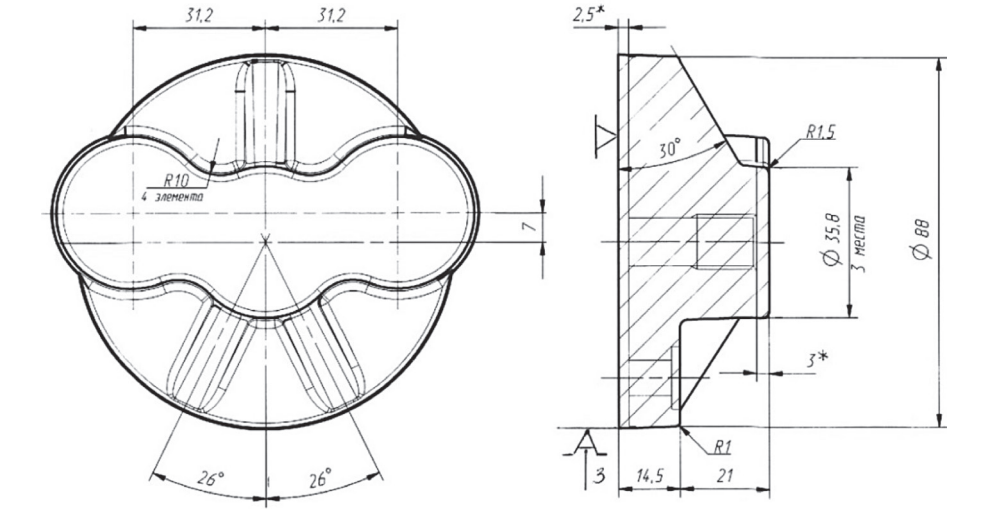
В литейном цехе БНТУ была организована серия экспериментальных плавок в индукционной тигельной печи повышенной частоты ИСТ-0,06 с выплавкой серого чугуна марок СЧ20, СЧ25 при частичной и полной замене традиционных компонентов металлошихты (чугунного и стального лома, передельного и литейного чугунов) на шихтовые слитки, полученные в РНП из окалины и металлургического шлама (состав использованной чушки приведен в табл. 3).

Таблица 3. **Химический состав шихтовых слитков, использованных для проведения экспериментальных плавок СЧ**

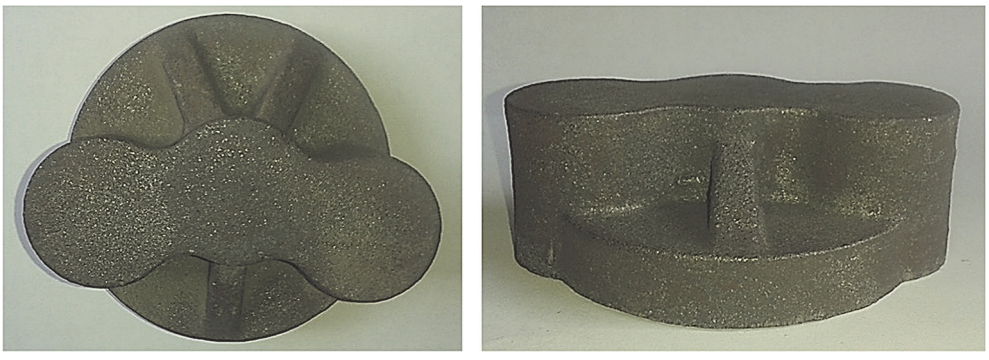
Номер плавки в РНП	Содержание компонентов, %											
	$Fe_{общ}$	$Fe_{мет}$	FeO	Fe_2O_3	C	S	Mn	Si	P	Cr	Ni	Cu
2	97,0	93,8	4,2	–	1,7	0,2	0,1	0,15	0,016	0,020	0,12	0,1
3	96,0	95,2	1,1	–	2,3	0,07	0,02	0,05	0,011	0,004	0,10	0,23
4	97,8	97,8	0,2	–	1,3	0,14	0,01	0,17	0,012	0,010	0,11	0,22
8	93,8	88,5	4,5	1,1	3,8	0,05	0,02	0,45	0,022	0,015	0,12	0,34

Апробацию техпроцесса осуществляли при изготовлении опытной партии фасонных отливок «Крышка MRR» с толщиной стенок 8–15 мм из чугуна марки СЧ20 (рис. 2).

Составы шихты для экспериментальных плавок, состав традиционной шихты, использованной для получения контрольной партии отливок (контрольная плавка) приведены в табл. 4. При изготовлении опытной партии отливок состав шихты соответствовал плавке № 2. Плавки № 1 и 2 проводили с целью получения чугуна марки СЧ20, плавки № 3 и 4 – чугуна марки СЧ25. Угар основных элементов при проведении индукционной плавки составил: углерода и кремния – не более 5%, марганца – около 10%.



а



б

Рис. 2. Чертеж отливки «Крышка MRR» (*а*) и вид отливок, полученных в составе опытной партии (*б*)

Таблица 4. **Составы шихты контрольной и опытно-экспериментальных плавок**

Наименование компонентов шихты	Расход компонентов,%				
	опытно-экспериментальные плавки				контрольная плавка
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	
Возврат (ЛПС и брак отливок СЧ20)	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Металл из РНП (плавка № 2)	–	17,5	–	20	–
Металл из РНП (плавка № 3)	30,0	18,0	15	20	–
Металл из РНП (плавка № 4)	20,0	14,5	15	10	–
Металл из РНП (плавка № 8)	–	–	40	10	–
Лом стальной (Сталь 30)	–	–	–	–	20
Лом чугунный (СЧ15)	–	–	–	–	30
Чугун передельный ПЛ2	20,0	20,0	–	10	20
Всего металлозавалка	100	100	100	100	100
Сверх 100%:					
ферросилиций ФС75	0,52	0,60	0,53	0,46	–
ферросилиций ФС45	1,60	1,70	1,34	1,54	1,50
ферромарганец ФМн78	0,70	0,54	0,76	0,66	0,35
карбюризатор (электродный бой)	0,70	0,73	0,38	0,66	0,4

Из чугуна экспериментальных плавок отливали заготовки образцов по ГОСТ 24648-90 для проведения испытаний на растяжение (разрыв) и определение твердости по ГОСТ 27208-87, отбирали пробы для проведения анализа химического состава и определения плотности. Кроме того, отливали клиновые пробы на отбел, спиральную пробу на жидкотекучесть (проба Керри по ГОСТ 16438-70) и пробы на линейную усадку (отливали стержень сечением 20×20 мм и длиной между контрольными метками – 200 мм) [5]. Спираль Керри и пробу на линейную усадку заливали в сухую песчаную форму при температуре расплава 1370–1390 °С. Температуру контролировали с помощью переносной термопары ППР со сменными керамическими колпачками.

Для исследования состава образцов использовали оптико-эмиссионный спектрометр OBLF QSN750, энергодисперсионный спектрометр INCA-350, анализатор углерода АН7529, металлографический микроскоп МИМ-7, электронный сканирующий микроскоп TESCAN, твердомер ТШ-2М, универсальную разрывную машину Р-20.

Свойства чугуна экспериментальных плавок оценивали на соответствие требованиям ГОСТ 1412-85 и сравнивали с характеристиками контрольной плавки, выполненной с использованием стандартной технологии и традиционных шихтовых материалов. Полученные данные приведены в табл. 5–7.

Таблица 5. **Химический состав чугуна контрольной, опытной и экспериментальных плавок**

Материал	Массовая доля элементов, %							
	углерод	кремний	марганец	фосфор	сера	хром	никель	медь
Плавка № 1	3,37	1,81	0,95	0,090	0,10	0,031	0,082	0,15
Плавка № 2	3,34	1,93	0,86	0,070	0,13	0,036	0,085	0,12
Чугун опытной плавки	3,35	1,95	0,89	0,068	0,13	0,035	0,085	0,12
Чугун контрольной плавки	3,45	2,05	0,90	0,15	0,12	0,06	0,09	0,11
СЧ20 по ГОСТ 1412-85	3,3–3,5	1,4–2,4	0,7–1,0	≤0,2	≤0,15	–	–	–
Плавка № 3	3,31	1,75	0,84	0,087	0,10	0,038	0,11	0,23
Плавка № 4	3,27	1,74	0,79	0,080	0,11	0,037	0,097	0,15
СЧ25 по ГОСТ 1412-85	3,2–3,4	1,4–2,2	0,7–1,0	≤0,2	≤0,15	–	–	–

Таблица 6. **Физико-механические и литейные свойства чугуна экспериментальных плавок**

Номер плавки*	Физико-механические и технологические свойства					
	временное сопротивление при растяжении, МПа	твердость НВ	плотность, кг/м^3	линейная усадка, %	отбел, мм	жидкотекучесть (проба Керри), см
1	256, 265, 270	204; 191; 194	7120	1,0	7	112
2	270, 268, 260	200; 207; 197	7140	1,1	5	115
СЧ20 по ГОСТ 1412-85	≥200	≤230	7100	1,2	–	–
3	285, 280, 284	235, 240, 228	7180	1,2	9	110
4	270, 278, 276	232, 226, 220	7250	1,2	7	108
СЧ25 по ГОСТ 1412-85	≥250	≤245	7200	1,2	–	–

Таблица 7. **Физико-механические свойства и структура отливок из опытной и контрольной партий, склонность к отбелу и жидкотекучесть чугуна**

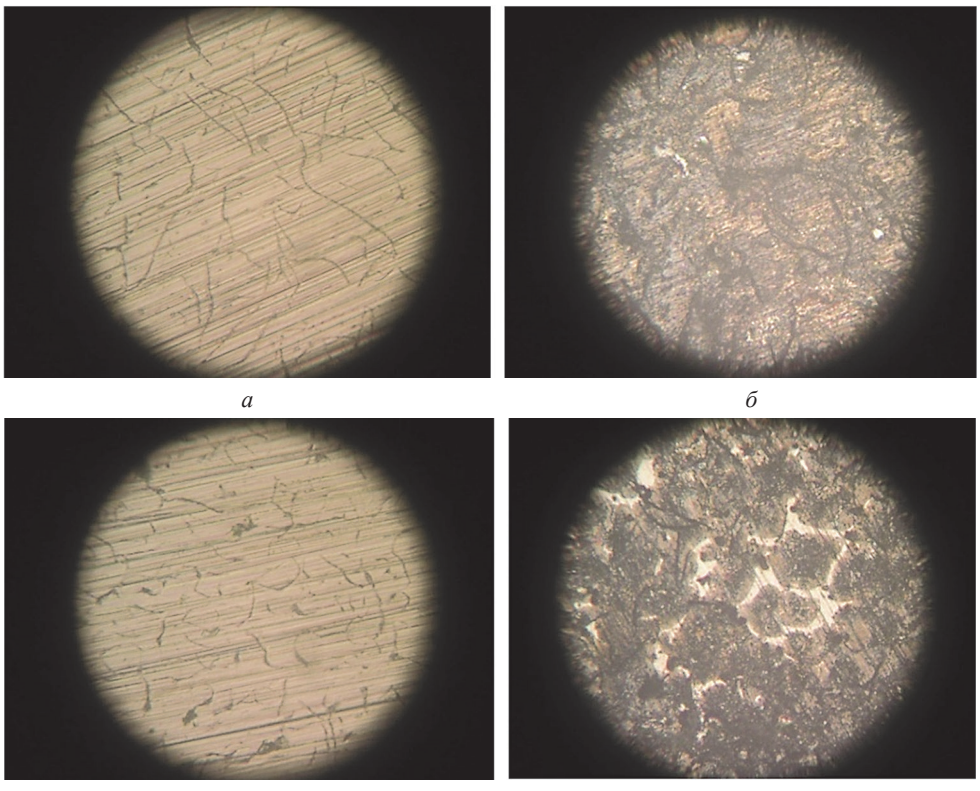
Наименование партии отливок	Номер образца	Твердость НВ	Временное сопротивление при растяжении, МПа	Структура	Отбел, мм	Проба Керри, см
Опытная партия	1.1	213; 207; 210	270	ПГф1, ПГд 90–120, ПГр1, ПГ 4–6, Пт1, Ф 3–5, П 97–95	5	115
	1.2	203; 208; 197	260			
Контрольная партия	К.1	209; 219; 207	240	ПГф1, ПГд 45–75, ПГр1, ПГ 2–3, Пт1, Ф 5–8, П 95–92, ФЭр2	5	115
	К.2	213; 208; 224	240			
Требования по ГОСТ 1412-85		≤230	≥200			

При изготовлении отливок дополнительно проводили анализ их микроструктуры и поверхности излома (рис. 3, 4). При изготовлении опытной и контрольной партий отливок использовали одинаковые режимы плавки и заливки форм. Твердость и структуру отливок определяли в идентичных сечениях.

Исследования показали, что чугун экспериментальных плавок полностью соответствует требованиям ГОСТ по химическому составу и физико-механическим свойствам и обладает высокими литейными свойствами: жидкотекучесть по стандартной пробе чугуна, соответствующего марке СЧ20, составила 112–115 см, отбел по клиновой пробе – 5–7 мм; у чугуна, соответствующего марке СЧ25, жидкотекучесть составила 108–110 см, отбел – 7–9 мм, линейная усадка всех полученных сплавов не превышала 1,2%.

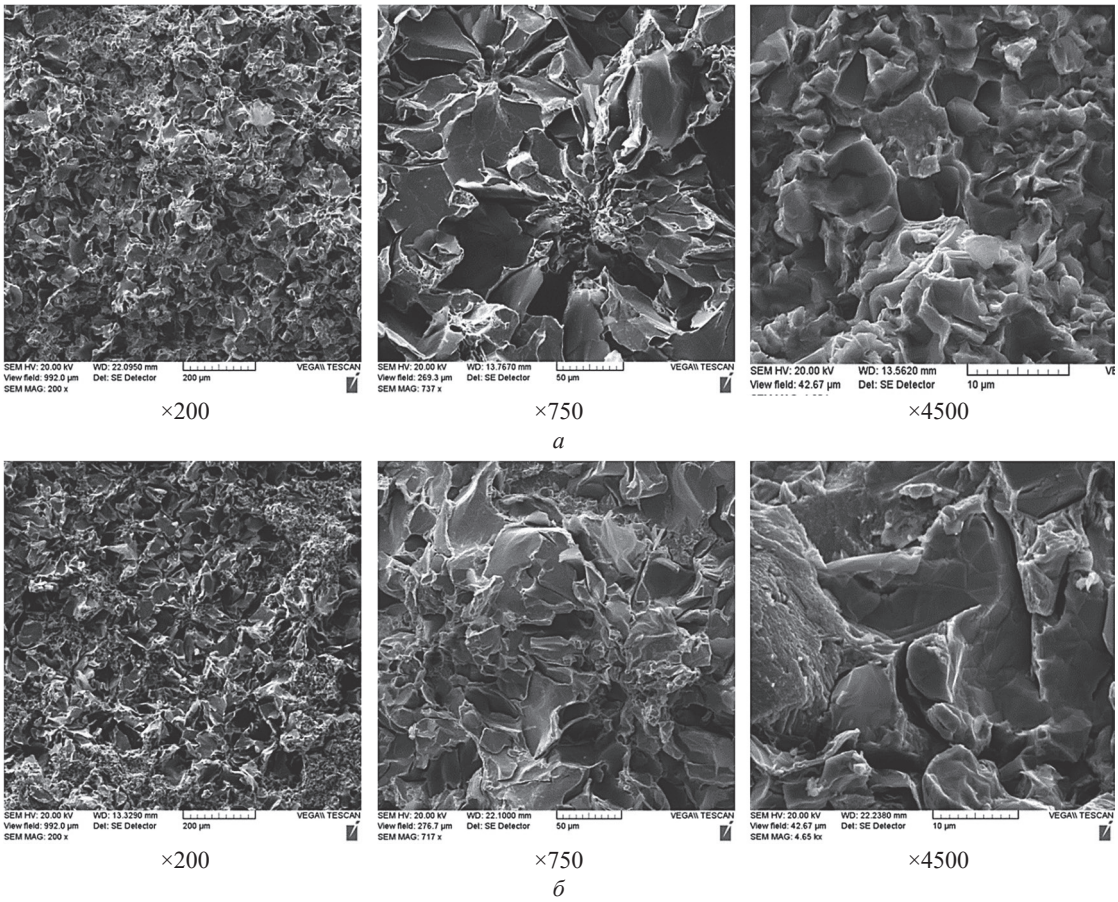
Единственным заметным отличием в составе чугуна опытно-экспериментальных плавок является существенно меньшее содержание фосфора, что не повлияло заметно на его жидкотекучесть, но должно снижать хрупкость, увеличивать пластичность, уменьшать склонность к пригару. Низкое содержание фосфора является важным требованием при получении высокопрочного чугуна.

Отливки опытной партии имеют плотную однородную структуру с металлической основой в виде пластинчатого перлита (95–97%) с равномерно распределенными включениями пластинчатого графита, имеющими прямолинейную форму, средняя длина включений графита составляет 45–90 мкм, площадь, занятая графитом, составляет 4–6%.



а *б* *в* *г*

Рис. 3. Микроструктуры отливок из опытной (*а, б*) и контрольной (*в, г*) партий: *а, в* – до травления; *б, г* – после травления. ×100



×200 ×750 ×4500

а

×200 ×750 ×4500

б

Рис. 4. Фрактограммы излома образцов отливок опытной (*а*) и контрольной (*б*) партий

Все отливки, изготовленные в составе опытной партии, соответствовали требованиям конструкторской и технической документации и ГОСТ 1215-85, не уступая отливкам из контрольной партии и даже превосходя их по прочности, что возможно связано с меньшим содержанием фосфора и отсутствием в их структуре фосфидной эвтектики.

Оценка себестоимости металла, полученного в результате рециклинга в РНП

Расчеты, выполненные с учетом действующих на 01.03.2018 г. тарифов Министерства энергетики Республики Беларусь на энергоносители, официального прейскуранта цен «ГО Белвтормет» на лом и отходы черных металлов и рыночных цен на прочие исходные материалы, показывают, что себестоимость чушки, полученной из оксидных железосодержащих отходов (окалины) в РНП, составляет 220–230 руб./т (~110–115 $/т), из стружки – 180–190 руб./т (~90–95 $/т), что в 1,5–1,8 раза ниже цен кускового стального и чугунного лома марок 1А, 2А, 4А и 17А, 18А, соответственно и в 3,0–3,5 раза ниже цен первичных шихтовых материалов (доменных чугунов). Таким образом, внедрение предлагаемой технологии рециклинга позволяет не только исключить необходимость захоронения металлосодержащих отходов, относящихся к 4-му классу опасности, и решить проблему их утилизации, но и снизить себестоимость получаемых отливок.

Следующим шагом экономии ресурсов и снижения себестоимости литья может стать реализация дуплекс-процесса «РНП – индукционная печь» или «РНП – электродуговая печь» с передачей жидкого металла, полученного из металлооотходов в РНП, в используемые на предприятии электроплавильные печи для доводки до заданного состава. Жидкая завалка позволяет пропорционально увеличить производительность электроплавки, сократить угар компонентов и значительно снизить удельные затраты электроэнергии.

Замена чугунного и стального лома, которые составляют при традиционной плавке чугуна в индукционных печах около 50% шихты, на жидкую завалку позволит на 40–45% сократить удельные затраты электроэнергии (при плавке на среднечастотных печах это снижение составит около 300–350 кВт·ч/т) и соответственно на 60–70 руб. (30–35$) снизить себестоимость 1 т чугуна. При этом, учитывая, что

средний выход годного при производстве чугунных отливок находится в пределах 65–70%, снижение их себестоимости составит около 90–100 руб./т (45–50 $/т). Аналогичный и даже больший эффект при использовании дуплекс-процесса может быть получен при производстве стальных отливок (учитывая, что для стальных отливок выход годного, как правило, не превышает 52–57%).

Выводы

Результаты опытно-экспериментальных плавок показали, что металл (как сталь, так и чугун), полученный в результате рециклинга дисперсных металлоотходов в РНП, с успехом может использоваться при плавке в электропечах литейных цехов для замены традиционных шихтовых материалов (как вторичных – стального и чугунного лома, так и первичных – доменного чугуна), обеспечивая получение качественных литейных сплавов, полностью отвечающих требованиям ГОСТ.

Для промышленных предприятий, имеющих собственное литейное производство, наиболее рациональным решением по переработке образующихся дисперсных металлосодержащих отходов является реализация дуплекс-процесса «РНП – электроплавильная печь или миксер».

Внедрение разработанных техпроцессов рециклинга дисперсных металлоотходов позволит решить задачу их возврата в производство, значительно снизить себестоимость готовой продукции, получить ощутимый экологический эффект и создать для литейного производства машиностроительных предприятий новую, собственную сырьевую базу.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Дьяконов О. М.** Комплексная переработка стружки и металлосодержащих шламов. Минск: Технология, 2012. 262 с.

2. **Ровин С. Л.** Рециклинг металлоотходов в ротационных печах. Минск: БНТУ, 2015. 382 с.

3. **Ровин С. Л.** Исследование работы ротационных наклоняющихся плавильных печей // Наука и техника. 2016. № 1. С. 18–28.

4. **Ровин С. Л., Ровин Л. Е.** Переработка дисперсных металлоотходов в литейных цехах машиностроительных предприятий // Литейное производство. 2016. № 10. С. 30–34.

5. Машиностроение. Энциклопедия. Стали. Чугуны. Т. 11–2 / Г. Г. Мухин, А. И. Беляков, Н. Н. Александров и др. М.: Машиностроение, 2001. 784 с.

REFERENCES

1. **D'jakonov O. M.** *Kompleksnaja pererabotka struzhki i metallosoderzhashhih shlamov* [Complex processing of chips and metal-containing sludge]. Minsk, Tehnologija Publ., 2012. 262 p.

2. **Rovin S. L.** *Recikling metalloothodov v rotacionnyh pechah* [Recycling of metal wastes in rotary furnaces]. Minsk, BNTU Publ., 2015. 382 p.

3. **Rovin S. L.** Issledovanie raboty rotacionnyh naklonjajushhihsja plavil'nyh pechej [The study of the work of rotary tilting melting furnaces]. *Nauka i tehnika = Science and Technique*, 2016, no. 1, pp. 18–28.

4. **Rovin S. L., Rovin L. E.** Pererabotka dispersnyh metalloothodov v litejnyh cehah mashinostroitel'nyh predprijatij [Processing of dispersed metal wastes in foundries of machine-building enterprises]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production*, 2016, no. 10, pp. 30–34.

5. ***Mashinostroenie**. Encyklopediya. Stali. Chuguny* [Mechanical engineering. Encyclopedia. Steel. Cast iron.] Vol. 11–2. G. G. Muhin, A. I. Belakov, N. N. Aleksandrov and oth. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2001. 784 p.

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.74:669.13

Поступила 05.03.2018

ПРОСЕЧКИ НА ПОВЕРХНОСТИ ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК

О. С. КОМАРОВ, Е. В. РОЗЕНБЕРГ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: komarov_metolit@tut.by,
А. Н. КАРАСЬ, А. М. НЕВМЕРЖИЦКИЙ, А. Н. АПАНАСЕВИЧ, ОАО «Минский тракторный завод», г. Минск, Беларусь, ул. Долгобродская, 29.

Исследован механизм образования просечек на чугунных отливках, стержни которых изготовлены из холоднотвердеющей смеси. Показано, что причиной образования просечек являются напряжения в поверхностном слое стержня, возникающие при превращении α-кварца в α-тридимит. Проверена возможность уменьшения количества и размеров просечек за счет подбора состава красок и толщины их слоя на поверхности стержней.

Ключевые слова. *Просечки, литейная краска, напряжения в стержне.*
Для цитирования: *Комаров, О. С. Просечки на поверхности чугунных отливок / О. С. Комаров, Е. В. Розенберг, А. Н. Карась, А. М. Невмержицкий, А. Н. Апанасевич // Литье и металлургия. 2018. Т. 91. № 2. С. 37–42.*

PERFORATIONS ON THE SURFACE OF IRON CASTINGS

O. S. KOMAROV, E. V. ROZENBERG, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: komarov_metolit@tut.by,
A. N. KARAS, A. M. NEUMIARZHYTSKI, A. N. APANASEVICH, OJSC «Minsk Tractor Works», Minsk, Belarus, 29, Dolgobrodskaya str.

The mechanism of the formation of veinings on cast iron castings whose cores are made of a cold-hardening mixture is studied. It is shown that the cause of the formation of the veinings are the stresses in the surface layer of the core that arise when α-quartz is converted to α-tridymite. The possibility of reducing the number and size of veinings due to the selection of the composition of paints and the thickness of their layer on the surface of the rods was tested.

Keywords. *Veining, casting paint, stresses in the core.*
For citation: *Komarov O. S., Rosenberg E. V., Karas A. N., Neumiarzhytski A. M., Apanasevich A. N. Pereorations on the surface of iron castings. Foundry production and metallurgy, 2018, vol. 91, no. 2, pp. 37–42.*

Просечки – это обычно протяженные узкие выступы на поверхности отливок, образующиеся в результате растрескивания контактирующей с расплавленным металлом поверхности форм и стержней и затекания в трещины металла. Растрескивание форм и стержней происходит в связи с термическим расширением кварцевого песка при нагревании и в результате полиморфных превращений в кварце. Считается, что увеличение объема наполнителя формовочной или стержневой смеси на контактирующей с расплавом поверхности вызывает появление механических напряжений, приводящих к растрескиванию смеси.

В основе механизма образования просечек лежит свойство кварца претерпевать полиморфные превращения в процессе нагревания: α-кварц при 574 ºС превращается в β-кварц с уменьшением объема на 0,8%, а при 870 ºС образуется α-тридимит с объемным расширением 14,7%. На объемные расширения, вызванные фазовыми превращениями, накладываются термические расширения, что создает напряжения в поверхностном слое стержня, контактирующим с жидким расплавом, в результате чего происходят растрескивание и разрушение этого слоя стержня. Схема образования просечек представлена на рис. 1.

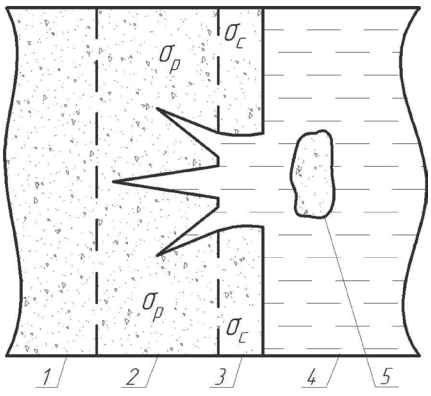


Рис. 1. Схема образования просечки: *1* – стержень; *2* – слой стержня с температурным интервалом 574–870 ºС; *3* – слой стержня с температурным интервалом 870–1350 ºС; *4* – расплавленный металл; *5* – фрагменты стержня или краски; σ_c – сжимающие напряжения; σ_p – растягивающие напряжения

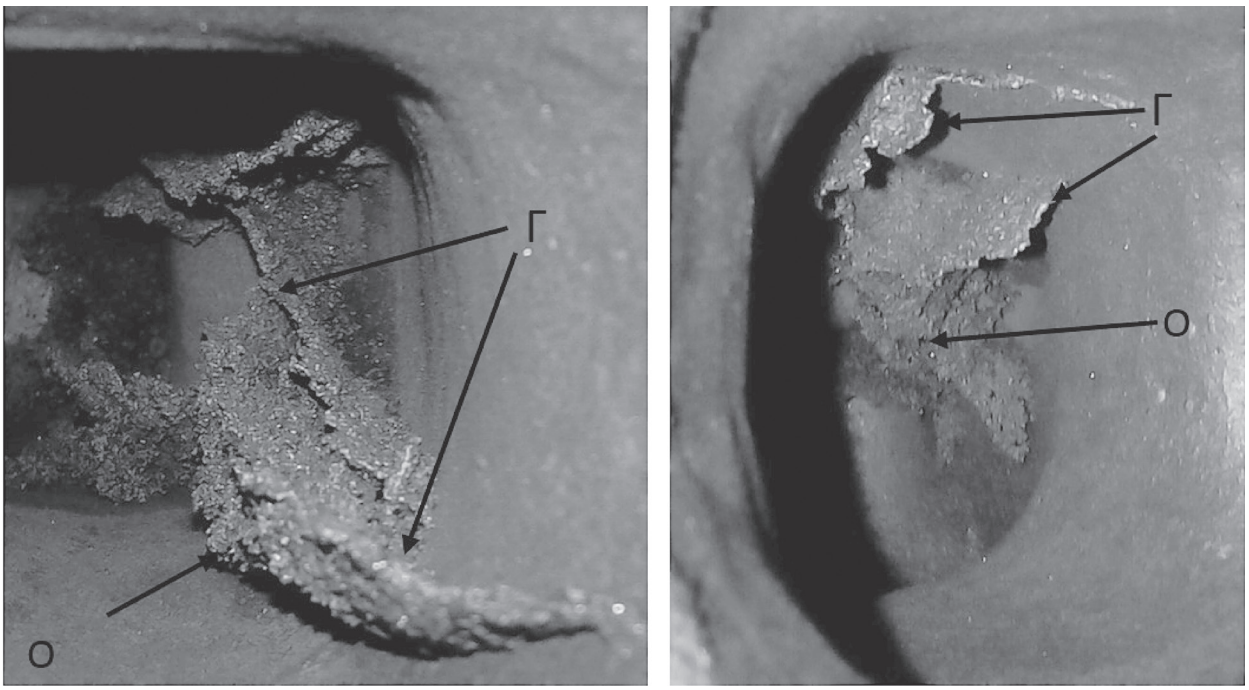


Рис. 2. Внешний вид просечки

Поверхность стержня можно условно разделить на несколько слоев с различной температурой прогрева в момент времени снятия перегрева залитого в форму металла. В слое при температурах в интервале 574–870 ºС (рис. 1) образуются растягивающие напряжения $\sigma_р$ за счет превращения α-кварца в β-кварц с уменьшением объема на 0,8%, что вызывает образование тонких трещин, а в слое стержня *3* (рис. 1), где температура превышает 870 ºС, возникают сжимающие напряжения $\sigma_с$ при образовании α-тридимита, приводящие к разрушению поверхностного слоя. Таким образом, просечка может состоять из двух частей: основания, образовавшегося при разрушении слоя *3,* и «короны» из тонких гребешков, образовавшихся при растрескивании слоя *2*.

На рис. 2 показан внешний вид типичных просечек, форма которых подтверждает приведенные выше соображения о возможном механизме их образования. Стрелкой «О» отмечено основание просечки, а стрелками «Г» – короны или гребень.

Для расчета ширины зон *2* и *3* (рис. 3) к моменту снятия перегрева расплавленного металла, после чего образование просечек невозможно, можно использовать методику, приведенную в работе [1]. В расчетах использовали продолжительность заливки τ_1, с; к концу заливки температура поверхности стержня равна температуре расплавленного металла (1300 ºС). Отливку считаем плоской. Время снятия перегрева τ_2 может быть рассчитано по формуле:

$$\tau_2 = \frac{(n+1)}{n}\left(\frac{Rp_1c_1}{b_2}\right)^2 \frac{T_з - T_к}{T_з + T_к}\left(\frac{q_{теч}}{C_1T_к} + \frac{T_з}{T_к} - 1\right) + \tau_1, \quad (1)$$

где τ_2 – время снятия перегрева, с; n – показатель параболы: n = 3 [1]; R – приведенный размер отливки (1/2 толщины стенки), $2R$ = 15 мм, τ; ρ_1 и c_1 – соответственно плотность и теплоемкость расплава: ρ_1 = 7000 кг/м^3; c_1 = 838 Дж/(кг·ºС); $b_2 = \sqrt{p_2c_2\lambda_2}$ – коэффициент аккумуляции тепла материалом формы (b_2 = 1265 Вт·С^{0,5}/(м^2·ºС)); $T_з$, $T_к$ – температура заливки и кристаллизации металла: $T_з$ = 1300 ºС; $T_к$ = 1130 ºС; λ_2 – коэффициент теплопроводности материала стержня (0,8 Вт/(м·ºС)); $q_{теч}$ – удельная теплота, полученная формой (стержнем) за время заливки:

$$q_{теч} = \sqrt{\frac{2n}{n+1}}\frac{b_2T_З}{Rp_1}\sqrt{\tau_1}. \quad (2)$$

Подставляя значения в формулы (1) и (2) и производя расчеты, получаем: $\tau_2 = 14{,}4 + \tau_1$.

Принимаем τ_1 = 7 с, тогда глубина прогрева формы составит:

$$x = \sqrt{2n(n+1)a_2\tau_2} = 4{,}5 \text{ мм}, \quad (3)$$

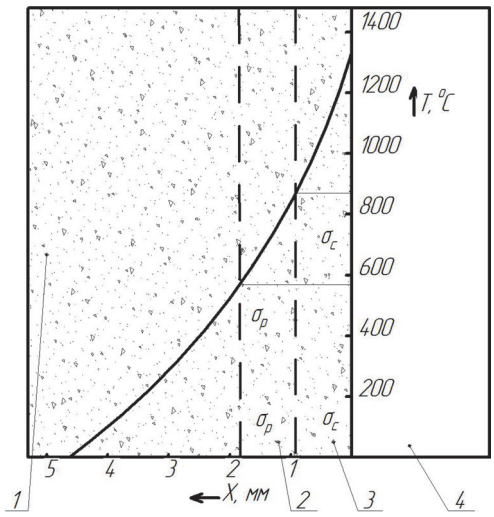


Рис. 3. Схема распределения температур и напряжений в стержне: *1* – стержень; *2* – слой стержня с температурным интервалом 574–870 ºС; *3* – слой стержня с температурным интервалом 870–1350 ºС; *4* – расплавленный металл; σ_c – сжимающие напряжения; σ_p – растягивающие напряжения

где

$$a_2 = \frac{\lambda_2}{c_2 p_2}, \quad (4)$$

здесь ρ_2 и c_2 – соответственно плотность и теплоемкость материала стержня: $\rho_2 = 1500$ кг/м^3; $c_2 = 800$ Дж/(кг·ºС).

На рис. 3 приведена схема распределения температур T в слое x стержня, прилегающем к поверхности отливки к моменту затвердевания поверхностного слоя металла отливки.

По мере прогрева в интервале 574–870 ºС в поверхностном слое стержня вначале возникают растягивающие напряжения σ_p, которые могут привести к образованию трещин. При увеличении температуры свыше 870 ºС происходит расширение, что вызывает скалывание и разрушение поверхностного слоя стержня. Образующиеся фрагменты стержня удаляются в расплавленный металл, создавая углубления в стержне, куда затекает металл, в результате чего на поверхности отливки формируется выступ просечки.

Приблизительную оценку величины напряжений, возникающих в зоне *3*, можно установить, используя методику, предложенную для расчета напряжений в песчаных грунтах [2]:

$$\sigma = E_0\alpha(T - T_0) + E_0\alpha_a, \quad (5)$$

где σ – напряжение в поверхностном слое, МПа; α – коэффициент термического расширения песка, 1/ ºС: $\alpha = 1\cdot10^{-6}$ 1/ºС; T – температура поверхности стержня: $T = 1300$ ºС; T_0 – исходная температура: $T_0 = 20$ ºС; E_0 – модуль общей деформации, МПа: $E_0 = 60$ МПа; α_a – коэффициент линейного расширения за счет полиморфного превращения α-кварца в α-тридимит: $\alpha_a = 0{,}05$.

Подставляя значения в формулу (5), получаем

$$\sigma = 60\cdot10^{-6}\cdot 1300 + 60\cdot0{,}05 = 0{,}07 + 3 \approx 3 \text{ МПа}.$$

Приведенные расчеты показывают, что термические напряжения можно не учитывать, так как их величина на два порядка меньше напряжений, образующихся за счет полиморфного превращения материала стержня.

Для предотвращения образования просечек необходимо исключить прогрев поверхностного слоя стержня до температуры свыше 870 ºС к моменту снятия перегрева расплавленного металла за счет нанесения слоя краски на поверхность стержня.

В цехе серого чугуна ОАО «МТЗ» взамен стержневой краски «Hydro» начали использовать краску российского производства, которая обеспечивает получение покрытия на стержне порядка 0,5–0,6 мм. Количество просечек резко сократилось, но они не устранены полностью.

Были рассмотрены три возможных направления, позволяющих снизить вероятность образования просечек. Первое основано на стремлении уменьшить напряжения, вызванные полиморфными превращениями в смеси, для чего в ее состав вводили добавки с низким коэффициентом термического расширения (циркон, муллитовые шарики и др.). В соответствии со вторым направлением в состав смеси вводят органические материалы (древесную муку, крахмал и др.), которые, выгорая, под действием высоких температур, создают микропустоты, способствующие снятию напряжений в смеси, компенсируя увеличение объема материала стержня. Третье направление предполагает введение в состав смеси добавок типа оксидов железа, титана или лития, которые при высоких температурах взаимодействуют с кварцем, изменяя склонность смеси к фазовым превращениям и связанными с ними изменениями объемов.

У каждого из этих методов есть свои недостатки. Добавка циркона ведет к удорожанию смеси и, в конечном итоге, увеличивает стоимость отливки. Органические добавки повышают газотворность смеси и отрицательно сказываются на ее прочности. Флюсующие добавки приводят к образованию пригара и, накапливаясь в оборотной смеси, снижают ее качество.

В связи с этим сделана попытка снизить количество просечек на отливках «головка блока» и «турбинка», выпускаемых на МТЗ, за счет изменения состава стержневой краски. Стержни обеих деталей изготавливаются в холодных ящиках (cold-box). Стержни головки блока окрашивали краской «Hydro»,

фирма «Furtenbach», а стержень турбинки окраске не подлежал. Проведено несколько серий экспериментов (см. таблицу).

Опыты на ОАО «МТЗ» (цех серого чугуна) по ликвидации просечек (головки блока)

Номер серии эксперимента	Состав краски		Результат
	однослойное покрытие	двухслойное покрытие	
1	Zr 50 + Аю·6		Существенных отличий от окраски «Hydro» не замечено
2	Zr 40 + Г10 + Аю·6		
3	АХФ 10 + Zr60		
4	АХФ 10 + ДС50		
5	АХФ 10 + Zr 45 + Г15		
6	Zr20 + ДС20 + Г15 + Аю6		
7	К40 + Г15 + Д10 + Аю6		
8	ДС40 + Г15 + $Na_2CO_3$4 + Аю6		
9	Zr20 + ДС20 + Г15 + Аю6	Zr20 + ДС20 + Г+ Аю6	Лучше, чем при нанесении двух слоев краски «Hydro», но просечки встречаются
10	Г15 + ДС10 + К40 + Аю6	Г15 + ДС20 + К15 + Аю6	
11	Г20 + Cu20 + Аю6	Г15 + Cu20 + Аю6	
12	Ну + Cu20	Ну + 20Cu	Просечек мало, но они встречаются
13	Zr40 + ДС20 + Аю6	ДС10 + Ну + Cu15	
14	Zr40 + ДС20 + Аю6	Г7 + Ну	
15	Ну+ Cu15	Zr60 + Аю6	
16	Ну+ Fe20	Zr60 + Аю6	
17	Ну + Кр2	Zr60 + Аю6	Краска загустевает
18	Ну+ FeO15 + С4	Zr60 + Аю6 + Кр2	Есть просечки, краска густая
19	Zr60 + Аю6 + Кр3	ЛС4 +Г20	Просечек мало, но они встречаются
20	Zr60 + Аю6 + Кр3	FeO10 + Г5 + Ну	
21	РК + Оп6	ДС60 _Аю6	Встречаются отдельные просечки
22	РК+Оп5	Zr60 +Оп5 +Аю6	
23	РК	»	

Примечание. Zr – циркон; Аю – алюминат натрия; ДС – дистенсилиманит; К – корунд (Al_2O_3); Ну – «Hydro»; АХФ – алюмохромфосфат; Г – графит; Кр – крахмал; Оп – опилки; Д – доломит; РК – Российская краска; ЛС – лигносульфонат. Цифры после букв указывают на процентное содержание компонента в краске.

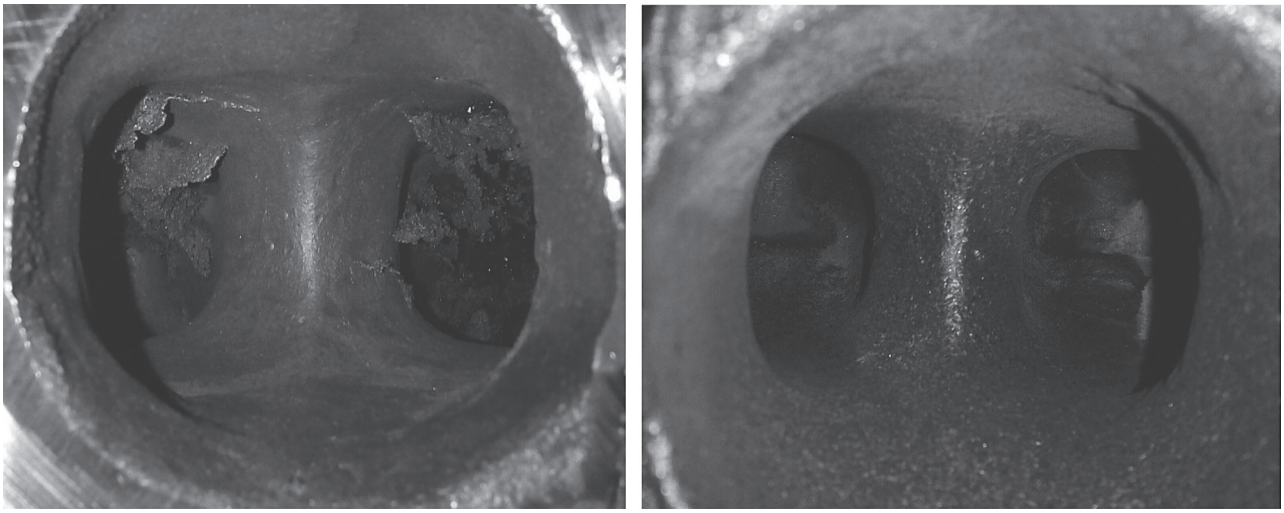
Первая серия экспериментов (опыты № 1–5) проведена с целью проверки влияния теплопроводности наполнителя краски на образование просечек. Исходили из предположения, что использование наполнителя с высокой теплоемкостью и теплопроводностью ускорит процесс образования корки твердого металла вблизи поверхности стержня и сделает невозможным затекание жидкого расплава в трещины в стержнях. Кроме того, применение алюмината натрия и алюмохромфосфата в качестве связующих, обладающих высокой прочностью при высоких температурах, должно препятствовать растрескиванию поверхностного слоя краски и стержня. В связи с этим в качестве наполнителей краски использовали графит и циркон, а в качестве связующего – алюминат натрия и алюмохромфосфат.

Цель второй серии экспериментов (опыты № 6–8) – создать на границе стержень-расплав чугуна барьер из газов, которые замедлили бы теплопередачу от металла к стержню и снизили температуру на поверхности стержня. Для этого в состав краски вводили доломит ($MgCO_3 \cdot CaCO_3$) и натриевую соду (Na_2CO_3), которые, разлагаясь под действием высоких температур, создали бы газовый барьер. Но интенсивность разложения при температурах прогрева верхнего слоя стержня, когда образуются трещины, оказалась недостаточной и существенного влияния на образование просечек не наблюдали.

Во всех последующих экспериментах пытались защитить стержень от быстрого нагрева за счет увеличения толщины покрытия краской (наносили два слоя с сушкой стержня после нанесения каждого) и варьирования составами с целью снижения теплопроводности, образования газового барьера (крахмал, опилки, смесь FeO + C) или ускорения образования корки твердого металла (порошок Fe и Cu в составе краски).

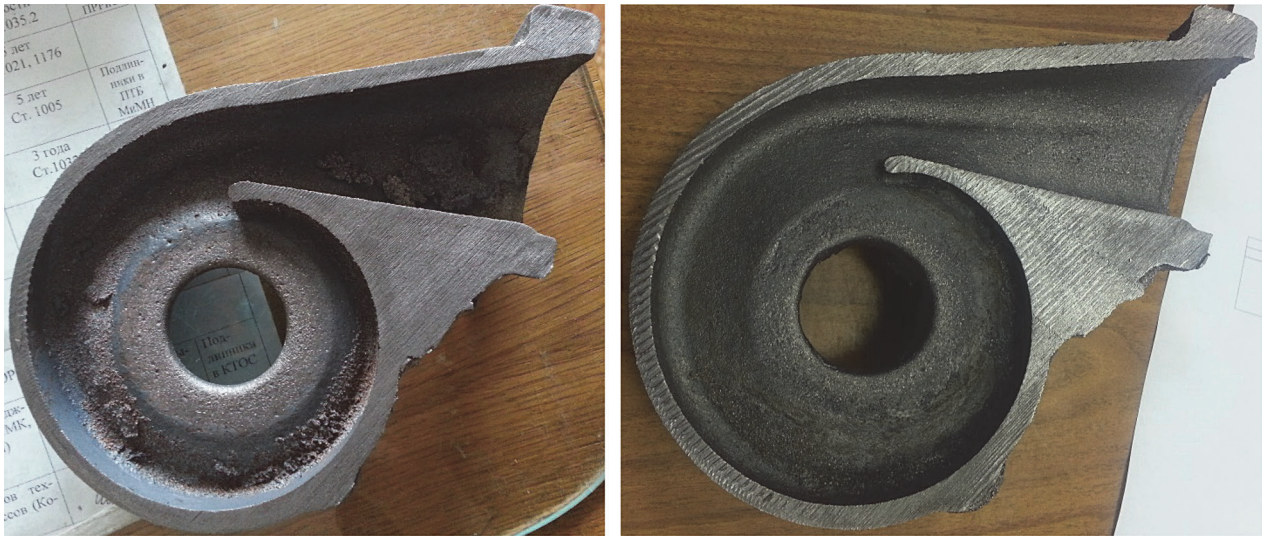
Применение двухслойного покрытия стержня и различных вариантов наполнителей обеспечивало уменьшение числа просечек на 80–90%, но они оставались.

Российская краска (Акропал 78–90 К) обеспечивает получение толстого покрытия, что существенно сокращает число и размер просечек. Нанесение двух слоев позволило практически устранить их полно-



а *б*

Рис. 4. Просечки на отливках при использовании краски «Hydro» (*а*) и двухслойного покрытия (*б*)



а *б*

Рис. 5. Вид внутренней поверхности отливки: *а* – стержень не окрашен; *б* – стержень окрашен

стью, но толстое покрытие стержня затрудняет его установку и увеличивает размер внутренних полостей. Тем не менее, добавка в ее состав ряда компонентов и нанесение второго слоя других красок положительно сказывается на ее эффективности.

На рис. 4 приведены фотографии внутренних полостей головки блока при применении краски «Hydro» и двухслойной краски. Первый слой состоял из 20% циркона, 2% крахмала и 6% 50%-ного раствора $NaAlO_2$, а второй слой на основе краски «Hydro» с добавкой 10% FeO и 5% графита.

Во втором случае наблюдали не только резкое уменьшение количества просечек, но и повышение чистоты поверхности. Снижение количества просечек связано как с совершенствованием состава краски, так и с увеличением ее толщины.

Просечки на внутренней поверхности отливки турбины были устранены окраской стержня. Наилучший эффект получен при использовании краски на основе циркона (50%) со связующим алюминатом натрия. На рис. 5 показана внутренняя поверхность турбин, стержень которых не окрашен и после окраски.

Таким образом, в порядке обсуждения проблемы повышения качества чугунных отливок предложен вариант механизма образования просечек и исследована возможность существенного снижения их количества за счет совершенствования состава краски и увеличения толщины ее слоя. Проведенные исследования показали, что увеличение толщины покрытия краски за счет повышения ее вязкости или нанесения нескольких слоев более эффективно в борьбе с дефектами «просечка», чем подбор сложных комбинаций компонентов наполнителя краски.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Анисович Г. А.** Затвердевание отливок / Г. А. Анисович. Минск: Наука и техника, 1979. 232 с.
2. **Домбровский Н. Г.** Строительные машины / Н. Г. Домбровский, Ю. Л. Картелишвили, М. И. Гальперин. М.: Машиностроение, 1976. 391 с.

REFERENCES

1. **Anisovich G. A.** *Zatverdevanie otlivok* [Curing of castings]. Minsk, Nauka i tehnika Publ., 1979. 232 p.
2. **Dombrovskij N. G., Kartelishvili Ju. L., Gal'perin M. I.** *Stroitel'nye mashiny* [Construction machines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1976. 391 p.

ПОЗДРАВЛЯЕМ!

С ПРИСУЖДЕНИЕМ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

СЕРГЕЯ ЛЕОНИДОВИЧА РОВИНА

Редакция журнала «Литье и металлургия»,
Ассоциация литейщиков и металлургов Республики Беларусь
горячо и сердечно поздравляют Вас.

Примите от нас, Сергей Леонидович, самые искренние поздравления
и самые добрые пожелания.

Желаем Вам дальнейших творческих успехов, крепкого здоровья,
благополучия в жизни.

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 669.054.8

Поступила 18.04.2018

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТХОДОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СВИНЦА

С. Л. РОВИН, УП «Технолит», г. Минск, Беларусь, ул. Я. Коласа, 24. E-mail: technolit@tut.by,
С. В. ГРИГОРЬЕВ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: gsv@metolit.by

Свинецсодержащие отходы составляют более половины всех образующихся в Беларуси отходов цветных металлов. При этом они являются наименее изученными и наиболее токсичными из металлоотходов. Основную их часть составляют отработанные свинцово-кислотные аккумуляторы, 50–60% массы которых это оксидно-сульфатная свинцовая паста. В статье представлены результаты исследования состава и свойств характерных свинецсодержащих отходов, образующихся как в процессе эксплуатации свинецсодержащих изделий, так и в процессе производства свинца (шлаки, аспирационные пыли и т.д.). Полученные данные позволяют оптимизировать технологические режимы переработки отходов: расход флюсов и термовременные режимы выплавки чернового свинца.

Ключевые слова. *Дисперсные свинецсодержащие отходы, аккумуляторная паста, шлаки, аспирационные пыли.*
Для цитирования. *Ровин, С. Л. Исследование отходов, образующихся при производстве свинца / С. Л. Ровин, С. В. Григорьев // Литье и металлургия, 2018. Т. 91. № 2. С. 43–49.*

A STUDY OF WASTES GENERATED IN THE PRODUCTION OF LEAD

S. L. ROVIN, «Technolit» Co, Minsk, Belarus, 24, Kolasa str. E-mail: technolit@tut.by,
S. V. GRIGORIEV, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: gsv@metolit.by

Lead-containing wastes amount to more than half of the waste of non-ferrous metals formed in Belarus. At the same these wastes are the least studied and the most toxic of the metal wastes. The bulk of them consists of lead-acid batteries, 50–60% of the mass of which is oxide-sulphate lead paste. The article presents the results of a study of the composition and properties of characteristic lead-containing wastes generated both in the operation of lead-containing products and in the production of lead (slag, dust aspiration, etc.). Obtained data allow to optimize the technological regimes of processing of wastes: consumption of fluxes and temperature – time regime of the lead melting.

Keywords. *Dispersed lead-containing wastes, accumulator paste, slags, aspiration dust.*
For citation. *Rovin S. L., Grigoriev S. V. A study of wastes generated in the production of lead. Foundry production and metallurgy, 2018, vol. 91, no. 2, pp. 43–49.*

Введение

Ежегодно в Беларуси образуется около 30 тыс. т отходов цветных металлов, в том числе до 10 тыс. т отходов алюминиевых сплавов, 4–5 тыс. т медных, 13–15 тыс. т свинецсодержащих, около 2 тыс. т отходов цинка и других цветных металлов и сплавов.

Наименее исследованными и наиболее опасными среди них с точки зрения воздействия на человека и окружающую среду являются свинецсодержащие отходы, которые в Беларуси составляют около половины всех отходов цветных металлов. Отходы свинца относятся к токсичным веществам I класса опасности. Основным их источником являются отработавшие свинцово-кислотные аккумуляторные батареи (АКБ). Среднестатистический автомобильный аккумулятор содержит 20–25% электролита, 60–65% свинца в виде оксидно-сульфатной пасты и металлических частей (решетки, полюса, перемычки) и 12–15% органических материалов (корпус, крышка, сепараторы) [1].

Аккумуляторная паста, состоящая из оксидов (PbO_2), сульфатов ($PbSO_4$) и сульфидов (PbS) свинца, составляет около 50% от массы АКБ и служит основным источником вторичного свинца не только в Беларуси, но и во всем мире. Помимо аккумуляторного лома, весомым источником свинца являются отходы,

образующиеся в процессе его производства: аспирационные пыли, шламы и шлаки. При производстве свинца из вторсырья эти отходы составляют до 40–50% от объема получаемых марочных сплавов. Исследования выявили значительные различия в структуре, элементном и фазовом составе образующихся отходов, что говорит о целесообразности дифференцированного подхода к их переработке. Некоторые из этих отходов по содержанию свинца не уступают аккумуляторной пасте и подлежат возврату в производство для более глубокой переработки, другие, содержащие не более 3–5% свинца, после соответствующей подготовки и обезвреживания могут быть переданы для захоронения на промышленных полигонах.

Методы исследования и аналитическое оборудование

Выполнено исследование гранулометрического состава, структуры, пористости и удельной поверхности, элементного и фазового состава дисперсных многокомпонентных свинецсодержащих отходов. Исследования проводили с использованием сканирующего микроскопа Vega Tescan и энергодисперсионного спектрометра INCA-350, дифрактометра Дрон-3. Удельную поверхность определяли с помощью прибора СОРБИ-М БЭТ-методом: по низкотемпературной адсорбции азота на поверхности частиц.

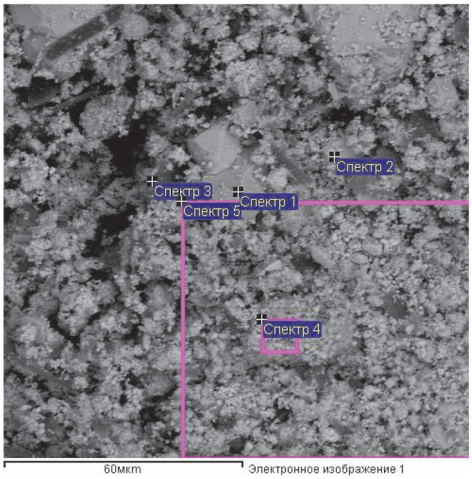
Результаты исследований

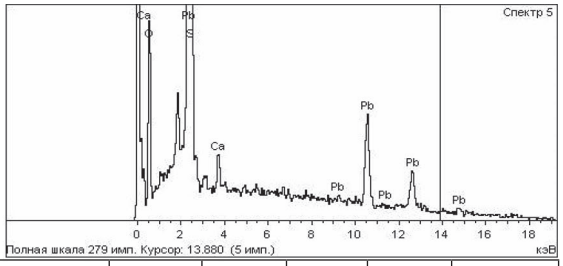
Исследовали образцы аккумуляторной пасты, полученной в результате разделки АКБ на ОАО «Белцветмет», а также предоставленные ООО «Белинвестторг-Сплав» отходы производства свинца: аспирационной пыли, образующейся в процессе плавки чернового свинца в ротационных печах, аспирационной пыли рафинировочного отделения, шлаков, образующихся в процессе рафинирования свинца в рафинировочных котлах – желтых и черных съемов (изгари), а также шлака, образующегося в ротационной печи при проведении восстановительной плавки (рис. 1).

Аккумуляторная паста – неоднородный материал темно-коричневого цвета, состоящий из частиц, содержащих соединения свинца, размерами от 1 до100 мкм, с включениями органических частиц (остатки сепараторов – волокна диаметром 1–3 мкм и длиной 50–150 мкм). Образуется в результате разделки отработавших слитых свинцово-кислотных аккумуляторов, после отделения органических частей и металлической фракции. Влажность материала – 8–12%, удельная поверхность – 2,0–4,5 $м^2/г$, кажущаяся плотность – 5,8–6,2 $г/см^3$, содержание свинца в соединениях (среднее) – 68,23%. Усредненный фазовый состав пасты: PbO_2 – ~ 22,6%, $PbSO_4$ – ~ 69,6, PbS – ~ 2,1, $CaSO_4$ – ~ 4,5%, прочие – до 1,2%. Элементный состав и микроструктурный анализ аккумуляторной пасты приведены на рис. 2.

Рис. 1. Свинецсодержащие отходы: *а* – аккумуляторная паста; *б* – аспирационная пыль от ротационной печи; *в* – шлак ротационной печи; *г* – аспирационная пыль от рафинировочных котлов; *д* – черные съемы с рафинировочных котлов; *е* – желтые съемы с рафинировочных котлов

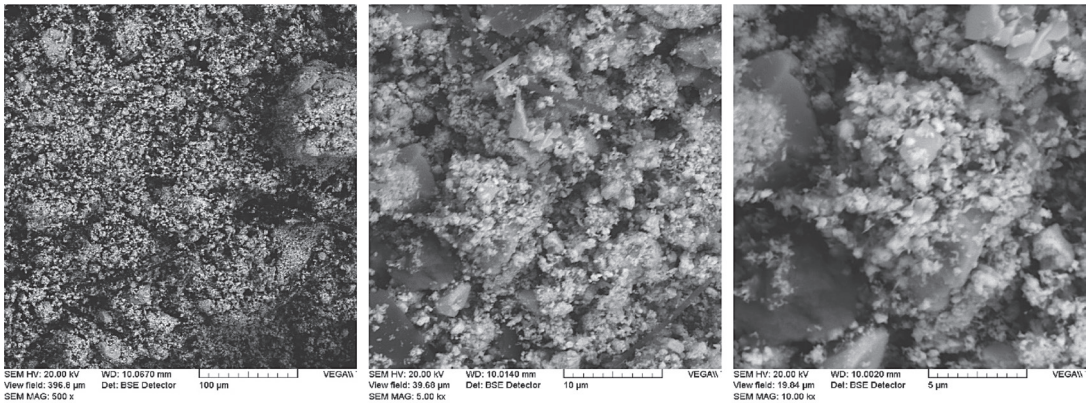
а





Спектр	O	S	Ca	Pb	Прочие
Спектр 1	25,59	12,05	0,93	60,92	≤ 0,5
Спектр 2	18,30	12,38	0,25	68,56	≤ 0,5
Спектр 3	24,82	10,27	4,70	59,70	≤ 0,5
Спектр 4	17,14	3,96	0,43	77,97	≤ 0,5
Спектр 5	18,67	5,15	1,66	74,02	≤ 0,5
Среднее	19,90	8,96	1,39	69,23	≤ 0,5

б



×500 ×5000 ×10000

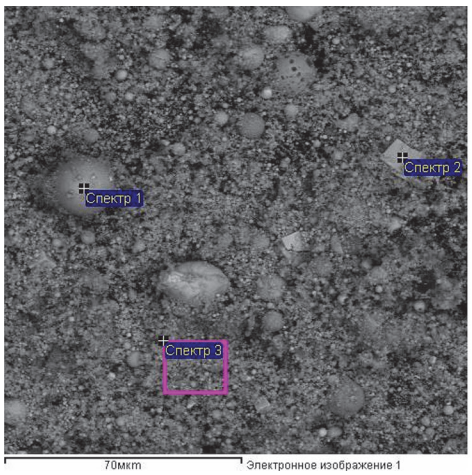
Рис. 2. Состав (*а*) и структура (*б*) аккумуляторной пасты

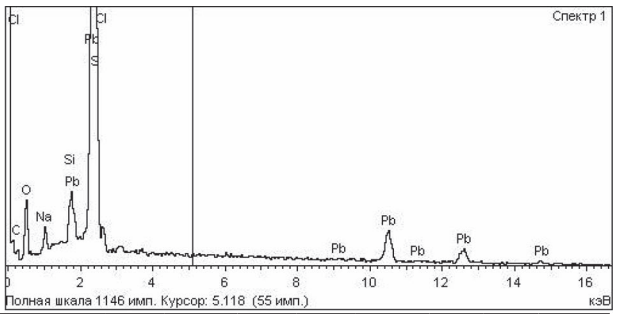
Аспирационная пыль, образующаяся в процессе восстановительной плавки в ротационной печи, – тонкодисперсный материал светло-серого цвета (порошок). Размер частиц – 0,1–25,0 мкм. Влажность материала – не более 0,5%. Насыпная плотность – 1,2–1,3 г/см^3. Основными компонентами пыли являются оксид (PbO) и сульфид (PbS) свинца. Общее содержание свинца в пыли, аспирируемой от ротационной печи в процессе восстановительной плавки, составляет в среднем ~70,52%. Помимо соединений свинца, в пыли содержатся сажистый углерод, оксиды, карбиды и карбонаты, силикаты, сульфиды и хлориды натрия и железа, а также более сложные соединения, такие, как фаялит ($2FeO{\times}SiO_2$) или феррит натрия ($NaFeO_2$). Общее количество компонентов, не содержащих свинец, в пыли составляет около 20–22%. Элементный состав, а также макро- и микроструктурный анализ пыли приведены на рис. 3.

Аспирационная пыль, образующаяся в процессе рафинирования свинца, – тонкодисперсный материал серого цвета. Размер частиц – 1,0–30,0 мкм. Влажность материала – не более 0,5%. Насыпная плотность – 2,2–2,3 г/см^3. Основными компонентами пыли являются оксид (PbO) и сульфид (PbS) свинца. Общее содержание свинца в пыли, аспирируемой от рафинировочных котлов в процессе рафинирования, составляет в среднем ~62,26%. Помимо соединений свинца, в пыли содержатся оксиды, карбиды, карбонаты, сульфиды олова, сурьмы, натрия и железа, а также более сложные соединения, в том числе интерметаллиды натрия, свинца, олова, сурьмы. Элементный состав и структурный анализ пыли приведены на рис. 4.

Черные съемы (изгарь) – шлак, образующийся при первичном рафинировании свинца от примесей меди: неоднородный дисперсный материал черного цвета с включениями металлического свинца. Размер частиц шлака – 1–300 мкм, размер металлических включений – от 0,2–0,5 до 20–25 мм. Влажность материала – не более 0,5%. Насыпная плотность – 4,3–4,5 г/см^3. Количество включений металлического свинца в съемах составляет до 10–15%. Анализ элементного состава и структуры частиц шлака проводили после отделения металлических включений. Результаты анализа приведены на рис. 5. Основными компонентами в составе черных съемов являются оксид и сульфид свинца, общее содержание свинца в соединениях ~60,18%. Помимо соединений свинца, в съемах содержатся оксиды, сульфиды олова, сурьмы, железа, меди, кремния, силикаты и другие соединения.

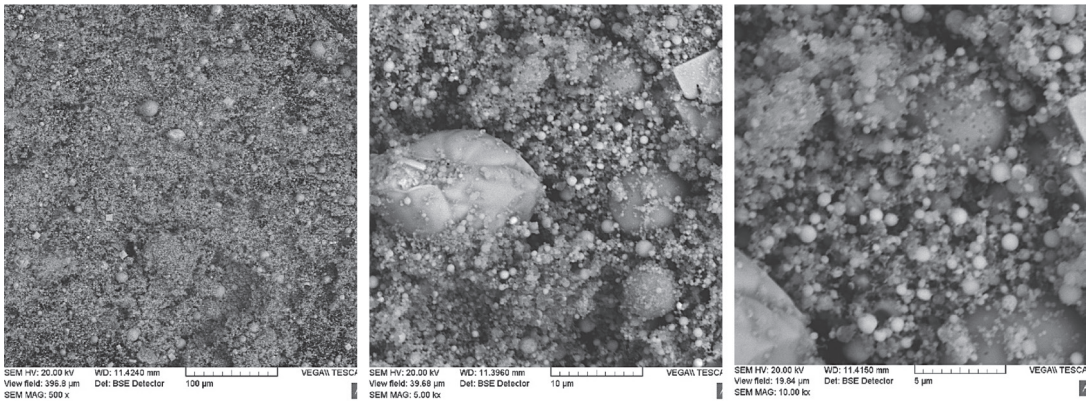
а





Спектр	C	O	Na	Si	S	Cl	Fe	Pb
Спектр 1	5,57	14,20	2,31	1,68	4,19	0,88	0,80	70,35
Спектр 2	9,52	1,20			11,68			77,60
Спектр 3	6,20	15,23	2,83	0,35	10,23	0,55	1,24	63,61
Среднее	7,10	10,21	1,71	0,68	8,37	0,48	0,68	70,52

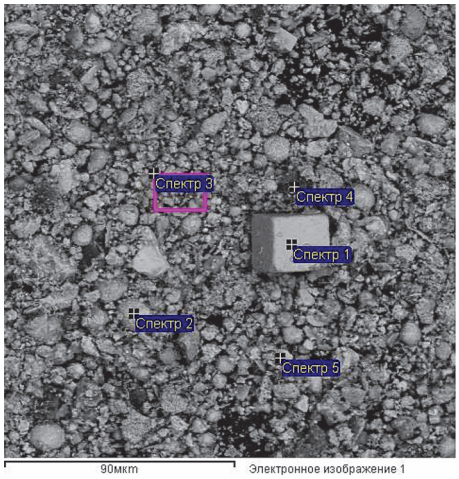
б

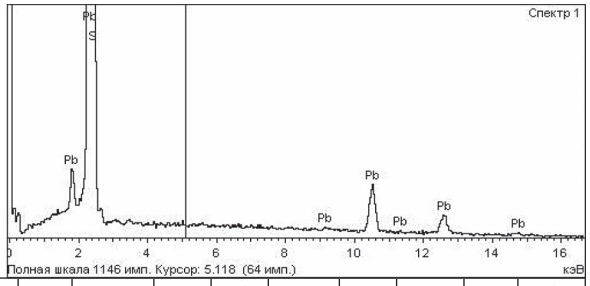


×500 ×5000 ×10000

Рис. 3. Состав (*а*) и структура (*б*) аспирационной пыли ротационной печи

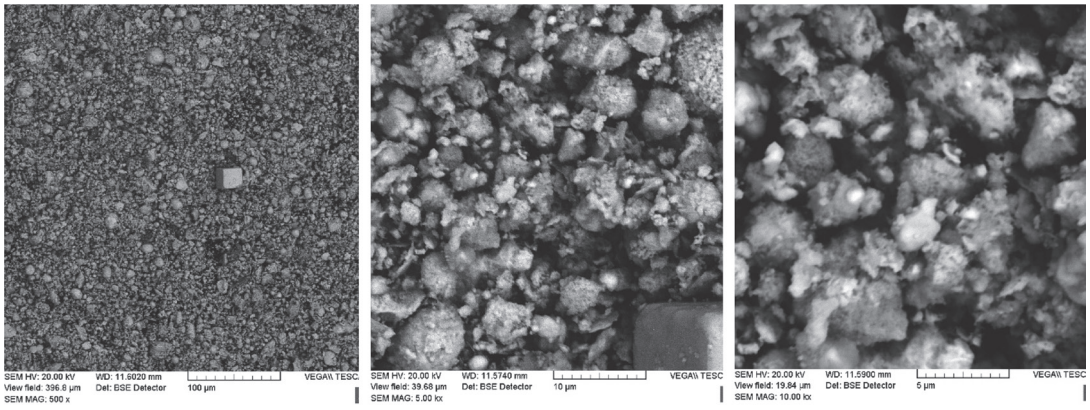
а





Спектр	C	O	Na	Si	S	Fe	Sn	Sb	Pb
1					13,34				86,66
2	2,68	9,91	1,12				4,94	3,42	77,93
3	0,56	16,14	3,21	0,52	2,08	0,78	12,07	9,56	54,98
4	0,43	17,15	5,19	1,13	10,33	8,65	1,26		55,48
5		16,69			1,83		15,55	9,66	56,27
Среднее	0,73	11,98	2,14	0,33	5,02	1,29	6,76	4,53	65,56

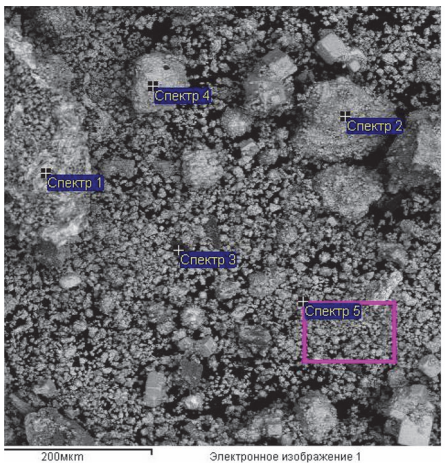
б

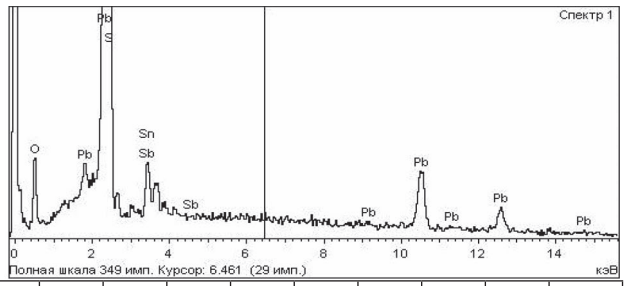


×500 ×5000 ×10000

Рис. 4. Состав (*а*) и структура (*б*) аспирационной пыли рафинировочных котлов

а

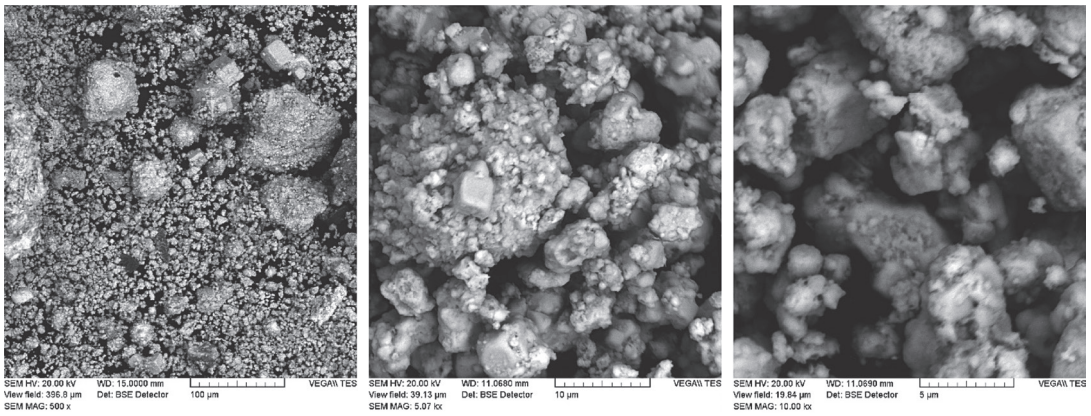




Спектр	O	Si	S	Fe	Cu	Sn	Sb	Pb	Прочие
1	10,51		10,38			9,59	2,73	65,78	≤1,0
2	20,58	0,56	5,02	7,36	1,34	8,06	6,05	50,03	≤1,0
3*	53,26	33,5	1,16	0,38		1,52		8,18	≤2,0
4	10,62		13,14			4,95	1,07	69,20	≤1,0
5	19,79	2,54	10,04	0,87	0,12	8,63	1,29	55,71	≤0,5
Среднее	15,38	0,76	9,65	2,06	0,46	7,81	2,87	60,38	≤0,5

* Спектр 3 не учитывали при определении среднего.

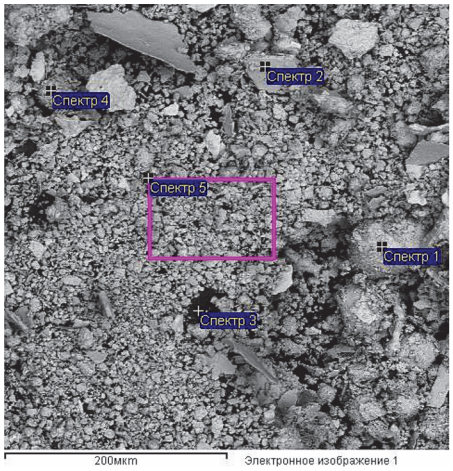
б

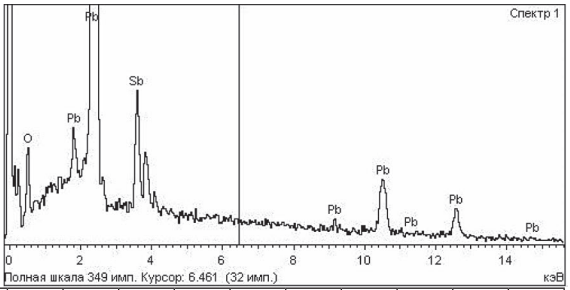


×500 ×5000 ×10000

Рис. 5. Состав (*а*) и структура (*б*) черных съемов

а

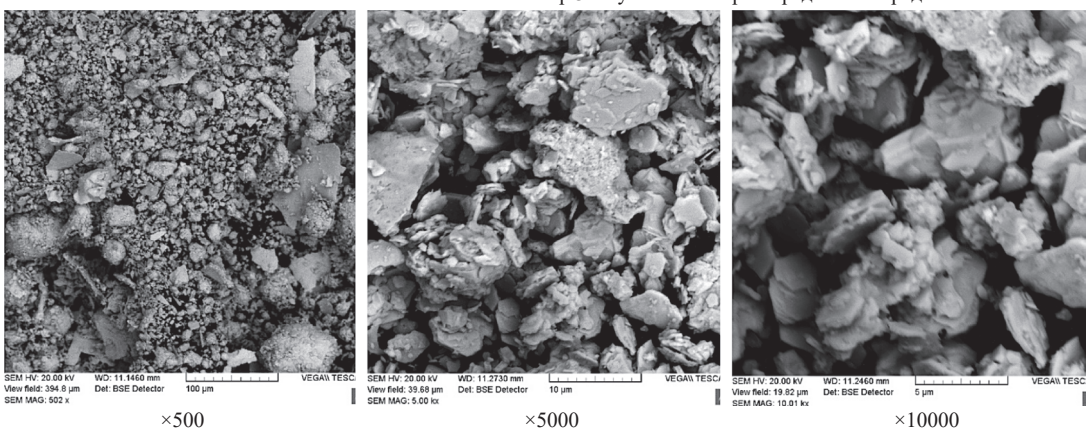




Спектр	C	O	Na	S	Cl	P	Sn	Ca	Sb	Pb
1		9,62	3,82	3,37			0,24		12,38	70,55
2	0,50	15,48	4,56			0,44			14,33	64,69
3*	79,6	16,67		1,2						2,52
4		7,56	2,46	2,34				1,64		85,68
5	0,26	13,29	7,53	0,97	2,06	0,52	1,95	0,62	5,97	66,76
Среднее	0,19	11,49	4,59	1,57	0,51	0,24	0,75	0,56	8,17	71,92

* Спектр 3 не учитывали при определении среднего.

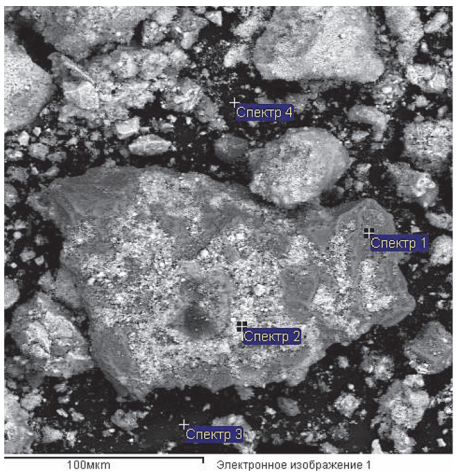
б

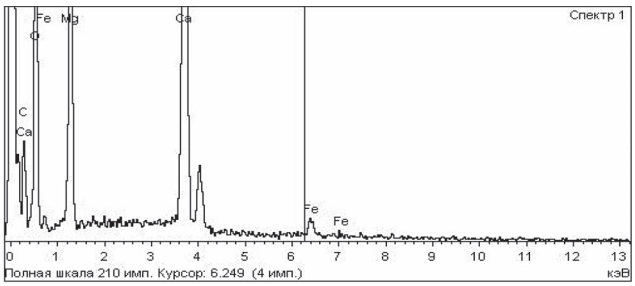


×500 ×5000 ×10000

Рис. 6. Состав (*а*) и структура (*б*) желтых съемов

а

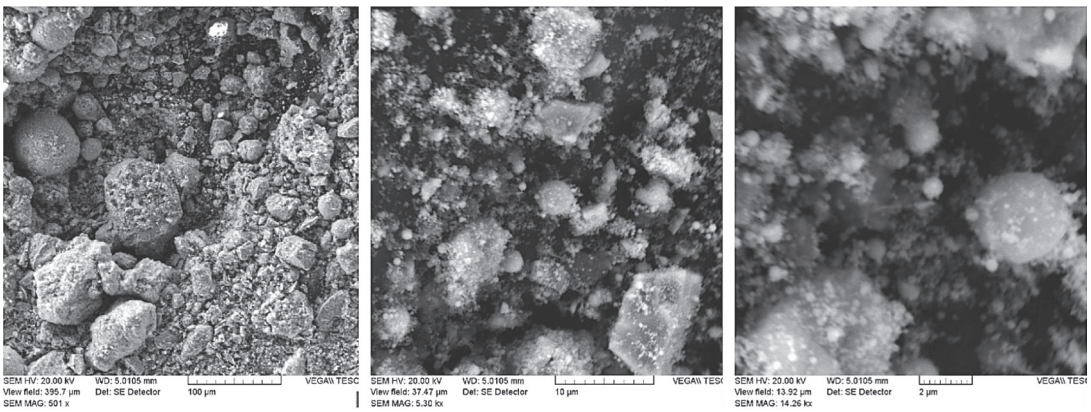




Спектр	C	O	S	Pb	Si	Ca	Na	Fe	Прочие
1	5,86	30,1	5,3	2,78	0,92	2,9	24,4	26,7	≤ 1,0
2	8,92	29,5	2,8	3,15	2,62	1,1	15,3	35,69	≤ 1,0
3	15,64	19,8,1	7,8	7,33	1,13	0,8	12,2	34,39	≤ 1,0
4*	80,0	17,6							≤ 2,0
Среднее	10,13	25,6	5,3	4,32	1,56	1,6	17,3	32,4	≤ 1,5

* Спектр 4 не учитывали при определении среднего.

б



×500 ×5000 ×14000

Рис. 7. Состав (*а*) и структура (*б*) шлака ротационной печи

Желтые съемы – шлак, образующийся при вторичном рафинировании свинца от примесей олова, сурьмы и мышьяка: неоднородный дисперсный материал желтого цвета с включениями металлического свинца. Размер частиц – от 1–2 мкм до 1–2 мм, размер металлических включений – от 0,1–0,2 до 3–5 мм. Влажность материала – 0,3–0,5%. Насыпная плотность – 5,45–5,55 г/см^3. Количество металла в съемах составляет около 5–8%. Анализ химического состава и структуры частиц шлака проводили после отделения металлических включений (рис. 6). Основными компонентами в составе желтых съемов являются оксид и сульфид свинца, общее содержание свинца в соединениях составляет в среднем ~71,92%. Помимо соединений свинца, в съемах содержатся оксиды, хлориды, сульфиды, сульфаты и другие соединения олова, сурьмы, натрия и кальция.

Шлак ротационной печи, образующийся при проведении восстановительной плавки аккумуляторной пасты, представляет собой дисперсный неоднородный материал красновато-коричневого цвета. Размер частиц – 1–200 мкм. Влажность материала – 8–10%. Насыпная плотность – 3,6–4,0 г/см^3. Общее содержание свинца в шлаке ротационной печи не превышает 2–5%. Элементный состав и структура частиц шлака приведены на рис. 7. Основными компонентами шлака являются соединения железа и натрия: FeO – 15,3%, Fe_2O_3 – 17,6, FeS – 5,8, $NaFeO_2$ – 5,2, Na_2O – 15,7, Na_2SO_4 – 14,2, $FeSiO_3$ – 2,3, NaCl – 0,2%, кроме того, в шлаке содержатся C – 10,1%, PbO – 4,9, SiO_2 – 4,8, CaO – 2,3%, оксиды олова, сурьмы, мышьяка и других элементов суммарно – не более 1,5%.

Выводы

Исследования показали, что большая часть отходов производства по содержанию свинца не уступает аккумуляторной пасте, а рафинировочные шлаки с учетом присутствующей в них металлической фракции (в желтых съемах может содержаться около 5–8%, а в черных до 10–15% металлического свинца) даже превосходят ее (см. таблицу). Соответственно аспирационные пыли и рафинировочные шлаки на большинстве предприятий возвращаются в производство для более глубокого извлечения свинца. Исключение составляют только шлаки восстановительной плавки чернового свинца, в которых при ис-

пользовании ротационных печей и соблюдении техпроцесса плавки, выдержки расплава и отделения шлака остаточное содержание свинца не превышает 4%.

Усредненный состав свинецсодержащих отходов

Название материала	Элементный состав, %												
	C	O	Na	Si	S	Cl	Ca	Fe	Cu	Sn	Sb	Pb	прочие
Паста АКБ	–	19,90	–	–	8,96	–	1,39	–	–		–	69,23	≤ 0,5
Пыль ротационной печи	7,10	10,21	1,71	0,68	8,37	0,48	–	0,68	–			70,52	≤ 0,25
Пыль рафинировочных котлов	0,73	11,98	2,14	0,33	5,02	–	–	1,29	–	6,76	4,53	65,56	≤ 0,25
Черные съемы*	0,15	15,38	–	0,76	9,65	–	–	2,06	0,46	7,81	2,87	60,38	≤ 0,5
Желтые съемы*	0,19	11,49	4,59	–	1,57	0,51	0,56	–	–	0,75	8,17	71,92	≤ 0,25
Шлак ротационной печи	10,11	25,60	17,30	1,56	5,37	0,08	1,60	32,40	–	–	0,10	4,32	≤ 1,5

* Анализ элементного состава съемов проводили после отделения металлических включений свинца.

Основным способом извлечения свинца из его соединений во вторичной металлургии сегодня является восстановительная плавка во вращающихся печах (около 70% чернового свинца получают в ротационных наклоняющихся и короткобарабанных печах) [2]. Как правило, различные отходы производства свинца подмешиваются к аккумуляторной пасте и переплавляются при идентичных технологических режимах.

В то же время исследования выявили значительные различия в составе образующихся отходов, что говорит о целесообразности дифференцированного подхода к их переработке.

Так, расчеты показывают, что высокое содержание свинца и натрия при относительно небольших количествах серы в шлаке, образующемся при вторичном рафинировании (в так называемых желтых съемах), и аспирационной пыли рафинировочных котлов позволяет в 2–3 раза снизить удельный расход кальцинированной соды и восстановителя, в 5–6 раз количество чугунной стружки и на 20–25% сократить время восстановления при проведении раздельной плавки указанных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Тарасов А. В., Бессер А. Д., Мальцев В. И., Сорокина В. С.** Металлургическая переработка вторичного свинцового сырья. М.: Гинцветмет, 2003. 224 с.

2. **Бакшеев С. П.** Восстановление свинца из сульфидных и кислородных соединений в щелочных средах применительно к технологии производства металла из минерального и вторичного сырья: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2005. 125 с.

REFERENCES

1. **Tarasov A. V., Besser A. D., Mal'cev V. I., Sorokina V. S.** *Metallurgicheskaja pererabotka vtorichnogo svincovogo syr'ja* [Metallurgical processing of secondary lead raw materials]. Moscow, Gincvetmet Publ., 2003. 224 p.

2. **Baksheev S. P.** *Vosstanovlenie svinca iz sul'fidnyh i kislorodnyh soedinenij v schelochnyh sredah primenitel'no k tehnologii proizvodstva metalla iz mineral'nogo i vtorichnogo syr'ja. Diss. kand. tekhn. nauk* [Lead recovery from sulfide and oxygen chemical compounds in alkaline environment in relation to the technology of production of metal from mineral and secondary raw materials. Ph. D. In Engineering]. Krasnojarsk, 2005. 125 p.

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.742.486, УДК 621.743.42 *Поступила 22.02.2018*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЖИДКОСТЕКОЛЬНЫХ СМЕСЕЙ. Ч. 2. ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ

А. Н. КРУТИЛИН, Ю. Ю. ГУМИНСКИЙ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: kantminsk@gmail.com,
Л. В. КУЛЬБИЦКАЯ, ГНУ «Институт общей и неорганической химии» НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь, ул. Сурганова, 9/1. E-mail: anna119@igic.bas-net.by

Обобщены способы электрофизического воздействия на структуру силикатных связующих и жидкостекольных смесей, используемые для улучшения их свойств. Рассмотрены такие способы воздействия, как ультразвуковые, магнитные, электрические и электрогидравлические. Большой интерес представляют возможности совмещения физических и химических методов модифицирования жидкого стекла. Применение электрофизических методов воздействия позволяет сократить количество дорогостоящих и дефицитных связующих материалов, повысить производительность труда на участках смесеприготовления и изготовления форм и стержней. Кроме того, электрофизические методы позволяют сократить длительность приготовления силикатных связующих материалов.

Ключевые слова. *Жидкое стекло, связующее, жидкостекольные смеси, электрофизическое воздействие, электромагнитная обработка.*
Для цитирования. *Крутилин А. Н. Повышение эффективности использования жидкостекольных смесей. Ч. 2. Электрофизические способы воздействия / А. Н. Крутилин, Ю. Ю. Гуминский, Л. В. Кульбицкая // Литье и металлургия. 2018. Т. 91. № 2. С. 50–56.*

EFFICIENCY UPGRADING IN UTILIZATION OF LIQUID–GLASS MIXTURES. PART 2. ELECTROPHYSICAL METHODS OF ACTION

A. N. KRUTILIN, Yu. Yu. HUMINSKI, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: kantminsk@gmail.com,
L. V. KULBITSKAYA, SSI Institute of General and Inorganic Chemistry of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, 9/1, Surganova str. E-mail: anna119@igic.bas-net.by

The methods of electrophysical influence on the structure of silicate binders and liquid-glass mixtures to improve their properties are generalized. Methods of influence such as ultrasonic, magnetic, electric and electrohydraulic are considered. Of great interest are The possibilities of combining physical and chemical methods of modification of liquid glass are lucrative ones.

Application of electrophysical methods of influence allows to reduce quantity of expensive and scarce binding materials, to increase labor productivity at mixed preparation sites and at production of forms and cores shops. The electrophysical methods allow to reduce duration of preparation of silicate binding materials.

Keywords. *Liquid glass, binder, liquid glass mixtures, electrophysical impact, electromagnetic processing.*
For citation. *Krutilin A. N., Huminski Yu. Yu., Kulbitskaya L. V. Efficiency upgrading in utilization of liquid-glass mixtures. Part 2. Electrophysical methods of action. Foundry production and metallurgy, 2018, vol. 91, no. 2, pp. 50–56.*

Обзорная информация

Использование внешних электрических полей позволяет оказывать существенное влияние на физико-химические и технологические свойства связующих материалов и формовочных смесей.

Жидкое стекло – это коллоидный раствор, который обладает электрической проводимостью. Коллоидная частица, находящаяся в растворе, имеет двойной электрической слой, состоящий из плотной и диффузионной частей. Электрическая проводимость раствора зависит от заряда и подвижности коллоидных частиц и ионов, находящихся в растворе, она определяется электропроводностью коллоидных частиц и ионов диффузионной части двойного электрического слоя. Формирование технологических

свойств смесей, прежде всего адгезионной прочности, неразрывно связано с образованием двойного электрического слоя на границе раздела фаз. Структура и характеристики слоя зависят от электрофизических свойств контактирующих фаз, наличия глинистых и оксидных пленок на поверхности зерен песка. Удельная электрическая проводимость связующего материала определяется исходными физико-химическими свойствами и температурой. Удельная электрическая проводимость смеси зависит от удельной электрической проводимости связующего материала, равномерности его распределения на поверхности зерен песка, а также степени уплотнения смеси и ее температуры.

В результате ослабления водородных связей и повышения степени диссоциации функциональных групп количество свободных носителей заряда в растворе, а, следовательно, и удельной электропроводности увеличивается. Дополнительная диссоциация способствует увеличению заряда цепи макромолекул. Снижение удельной электрической проводимости связующего материала, а также смеси, приготовленной на его основе, происходит из-за уменьшения количества диссоциированных функциональных групп, которые в процессе твердения вступают в реакции полимеризации и поликонденсации.

В процессе теплового воздействия увеличение степени диссоциации связующего способствует возрастанию электропроводности, дальнейшая полимеризация ведет к падению электропроводности. Уменьшение количества свободных носителей зарядов в случае химического отверждения ведет к снижению электропроводности сразу после смешивания.

Взаимосвязь между величиной электрической проводимости и степенью отверждения связующего материала позволяет контролировать длительность отверждения смесей, что особенно важно для определения оптимальных технологических параметров процесса.

Органические связующие вещества, которые могут использоваться в качестве модификаторов, являются в основном растворами высокомолекулярных соединений, их электропроводность определяется присутствием в растворе низкомолекулярных примесей, особенно электролитов, которые служат источниками возникновения слабосвязанных или свободных ионов. Эти связующие – своеобразные иониты, способные в растворе диссоциировать на высокомолекулярные катионы и анионы. Ионы, которые образуются при диссоциации, участвуют в переносе электрических зарядов и определяют электропроводность растворов высокомолекулярных соединений. При наложении постоянного электрического поля происходит ориентация макромолекул и функциональных групп вдоль его силовых линий, в переменном поле функциональные группы начинают совершать колебательные движения. Под действием электрического поля происходит перераспределение ионов в двойном слое, появляется ионная составляющая дипольного момента, увеличивается электрический момент макромолекулы полимера (коллоидной частицы). Активация смесей в переменном электрическом поле обеспечивает более значительное уменьшение вязкости связующего и повышение прочностных свойств смеси, чем в постоянном поле, что обусловлено ускорением процесса трансляционного движения молекул связующего под влиянием внешнего знакопеременного поля.

Электрофизические методы воздействия позволяют существенно интенсифицировать процессы растворения, они способствуют раскручиванию макромолекул модификатора из глобулярной в фибриллярную конформацию, что обеспечивает повышенную реакционную способность модификатора за счет высвобождения и ионизации новых функциональных групп. В результате интенсифицируются процессы образования водородных связей между функциональными группами макромолекул модификатора, а также макромолекулами и кремнекислородной частью связующего, создаются условия для структурирования связующего полимерной пространственной сеткой модификатора [1].

Согласно разработанной теории модифицирования [2], вводимые в жидкое стекло модификаторы должны образовывать фрагментарные надмолекулярные пространственные структуры. Это реализуется как за счет возникновения водородных связей между активными функциональными группами макромолекул, так и за счет межмолекулярного взаимодействия указанных групп со структурными составляющими связующего. Образовавшиеся пространственные сетчатые структуры при отверждении жидкого стекла исполняют роль защитного коллоида, препятствующего росту размеров новообразований. Играя роль мостиков, объединяющих структурные составляющие продуктов отверждения связующего, они пластифицируют отвержденную вяжущую композицию посредством армирования эластичными пространственными сетками. Этим требованиям в наибольшей степени удовлетворяют водорастворимые полимерные соединения, отличительной особенностью которых является линейная или разветвленная структура макромолекул, содержащая активные функциональные группы OH, NH_2, COOH, COOMe, $CONH_2$.

Среди наиболее распространенных способов воздействия на структуру связующих материалов можно выделить ультразвуковую, магнитную, электрическую и электрогидравлическую обработки растворов и дисперсий.

В основе ультразвуковой обработки материалов лежит физический эффект, который связан с особенностями распространения упругих колебаний в жидкости с частотой выше 16 кГц. Упругие механические колебания способствуют возникновению в жидкости чередующихся зон сжатия и растяжения, образованию большого количества разрывов сплошности в виде мельчайших пузырьков, что ведет к появлению в жидкости микроударных волн и микропотоков. Захлопывание пузырьков вызывает локальный разогрев вещества.

Импульсные гидродинамические возмущения большой интенсивности вызывают разрушение поверхностей твердых тел, контактирующих с жидкостью. Вследствие усталостного разрушения наиболее слабых межкристаллитных связей кавитация ведет к диспергированию неоднородностей, находящихся в жидкости. Возбуждение в жидкости колебаний изменяет характер движения молекул и активирует диффузионные процессы. Интенсификация процессов, инициирование химических реакций, разрушение твердых тел (диспергирование), дегазация в ультразвуковом поле связаны с параметрами кавитации. Известно, что под действием кавитации происходит расщепление молекул (в основном воды) на радикалы, воздействие на макромолекулы приводит к деструкции молекул полимеров и т.д.

Удаление влаги из материала под влиянием интенсивных акустических колебаний (ультразвуковая сушка) связано с ускорением процессов тепломассообмена в ультразвуковом поле. При высокой влажности капиллярно-пористых материалов происходит чисто механическое удаление влаги вследствие дробления капель под действием сильных акустических потоков и появления капиллярных волн.

Способ изготовления форм и стержней из жидкостекольных смесей, упрочненных ультразвуком, позволяет уменьшить количество связующего, повысить поверхностную и объемную прочность, улучшить условия труда. Обработка жидкого стекла ультразвуком разбивает глобулы силикагеля на более мелкие части, что ведет к их более плотной упаковке. Под действием ультразвука происходит разогрев смеси, связующее быстро теряет влагу и упрочняется. Оптимальные условия ультразвуковой обработки позволяют значительно увеличить общую и поверхностную прочность (приблизительно в 3 раза) при хорошей газопроницаемости. Для получения упрочненного слоя толщиной 40–50 мм необходимо 20–30 с при частоте ультразвука 18–22 кГц и амплитуде 0,4–0,7 мм. Не рекомендуется обрабатывать смеси с влагосодержанием более 0,8% [3].

На основании измерений коэффициентов светорассеивания и светопоглощения установлено, что при обработке жидкого стекла ультразвуком происходит изменение степени конденсации кремнекислородных анионов. Прочность на сжатие жидкостекольной смеси, отвержденной сложным эфиром, увеличилась на 20% [4].

Действие магнитных полей связывают с наличием в воде примесей [5]. Если при омагничивании чистой воды образовавшаяся структура сетки водородных связей сразу после снятия поля распадается, то при обработке растворов их структура и свойства остаются сравнительно стабильными и изменяются в зависимости от состава и концентрации растворенных веществ.

Переменное магнитное поле возбуждает в жидкости мощные токи, что приводит к изменению структуры водно-дисперсных систем, степени гидратации. Асимметрия гидратных оболочек создает условия, способствующие движению элементов в жидкую фазу [6, 7].

Повышению эффективности использования жидкостекольных смесей посредством химического модифицирования жидкого стекла в процессе его электрофизической обработки посвящена работа [8]. Доказана принципиальная возможность модифицирования жидкостекольного связующего материала высокомолекулярными соединениями в процессе его обработки в электрическом поле или высоковольтными импульсными электрическими разрядами.

При электрогидравлической обработке на порядок уменьшается количество энергии, необходимой для растворения модификаторов. Под воздействием электрического поля и высоковольтных импульсных электрических разрядов происходит образование ударной волны и высокоскоростных гидродинамических потоков, которые интенсифицируют процесс растворения полимерных модификаторов в жидком стекле. Создаются условия для «раскручивания» молекулярных клубков органического полимера и образования фрагментарных пространственных сеток, что приводит к повышению способности модификаторов адсорбироваться на кремнекислородной поверхности.

Под воздействием электрического разряда при дроблении коллоидных частиц жидкого стекла активная кремнекислородная поверхность взаимодействует с функциональными группами модификатора, что обеспечивает закрепление его в силикатной матрице и фиксирование раздробленной коллоидной структуры связующего.

Установлено, что увеличение площади поверхности кремнекислородной составляющей создает дополнительные условия для повышения в момент гелеобразования адсорбции модификаторов на зародышах кремниевой кислоты. Наряду с наличием в объеме связующего взаимопроникающих пространственных сеток органического модификатора это обеспечивает получение дисперсной структуры продуктов отверждения, обладающих повышенными прочностными свойствами.

Электрогидравлическое модифицирование жидкого стекла исследуемыми модификаторами в зависимости от типа отвердителя приводит к повышению прочностных характеристик смесей на 20–60%, пластичности – в 1,5–2,0 раза. Время перемешивания смеси, отверждаемой CO_2 и сложным эфиром, сокращается на 10–15%, текучесть смеси повышается на 15–20%.

Определены оптимальные значения основных параметров импульсных электрических разрядов, обеспечивающие эффективное модифицирование жидкого стекла, установлены оптимальные составы модифицирующих комплексов, позволяющие уменьшить содержание связующего при отверждении CO_2 ацетатэтиленгликолем и двухкальциевым силикатом на 15–25%, сохранив при этом прочностные показатели на уровне смесей, содержащих исходное жидкое стекло [8].

В работе [9] приведен перспективный способ сушки форм и стержней путем использования метода электроосматического обезвоживания (передвижение влаги от положительного электрода – модель к отрицательному – опока). Способ позволяет в 2 раза сократить затраты электроэнергии по сравнению с тепловой сушкой. При наложении постоянного электрического поля молекулы воды перемещаются в сторону катода, а молекулы связующего – к аноду. В результате обработки происходит повышение концентрации связующего в поверхностном слое, прочностные характеристики смеси в сухом состоянии выше на 15–20%, чем при тепловой сушке. Наличие токопроводящих порошков различных металлов (Al, Mg и т. д.) или применение графита или шунгита для повышения противопригарных свойств позволяет осуществлять поверхностное модифицирование наполнителя. Вследствие увеличения сил адгезии в электрическом поле поверхность подсушенного слоя покрывается сплошным равномерным слоем частиц токопроводящего порошка.

Известно использование электрофореза в процессе формирования оболочковых форм [10]. Взвешенные в дисперсионной среде частицы пылевидного огнеупорного наполнителя перемещаются к одному из электродов, покрытому токопроводящей пленкой (блоку моделей). Электрический заряд на поверхности твердых частиц образуется в результате ионизации поверхности или за счет адсорбции ионов электролита, специально вводимого в дисперсионную среду. Напряжение 30–60 В обеспечивает получение плотной оболочки толщиной 5–8 мм.

Для интенсификации процессов сушки стержней, возможно, использовать токи высокой частоты. Энергия высокочастотного нагрева расходуется на нагрев диэлектрика. Вследствие быстрого роста температуры по всему объему происходит удаление свободной влаги и увеличение скорости гелеобразования, что вызывает интенсивное нарастание прочности смеси. Достижение максимальной прочности происходит через 35–45 с. Необходимо исключить удаление влаги из геля, который становится хрупким, в противном случае происходит резкое снижение прочности [11].

Для повышения вяжущих свойств водных систем представляет интерес использование магнитной обработки. Использование жидкого стекла, обработанного при напряженности магнитного поля 3000 Э (37,7 А/м), позволило повысить прочность смеси на 12–50%. Омагничивание жидкого стекла способствует увеличению прочности смесей на 40–60%, позволяет уменьшить в их составе содержание жидкого стекла и феррохромового шлака на 30–40% без ухудшения исходных физико-механических свойств смесей и в 3–5 раз уменьшить их работу выбивки [12, 13].

Результаты исследований показывают, что электромагнитная обработка жидкостекольного связующего дает возможность на 30–40% повысить прочностные свойства самотвердеющей жидкостекольной смеси, на 1,5% уменьшить расход связующего и на 30–40% улучшить выбиваемость стержней из отливок [14]. Высокая скорость релаксации и низкая стабильность свойств активированного электрическим полем или омагниченного жидкостекольного связующего материала могут быть объяснены тем, что жидкое стекло представляет собой подвижную систему, подверженную существенным изменениям, обусловленным различными причинами. Структура и свойства жидкого стекла, образовавшиеся в резуль-

тате электрофизического воздействия, в очень короткий промежуток времени релаксируют до исходного состояния. Все это сдерживает широкое внедрение такого метода в литейных цехах.

В работе [15] на основании систематизированного анализа автор предложил направления дальнейших исследований с целью создания высокоэффективных модифицированных силикатных связующих материалов. На комплексной основе предложен принципиально новый подход к созданию модифицированного силикатного (жидкостекольного) связующего материала, обладающего отличной от жидкого стекла структурой и свойствами. Экспериментально доказана возможность создания оптимальной структуры силикатного связующего материала, что достигается в процессе гидротермального растворения силикат-глыбы в водных растворах высокомолекулярных соединений. Основное влияние на процесс формирования когезионной прочности отвержденной пленки модифицированных силикатных связующих оказывает адсорбционная активность модификатора.

Разработаны новые способы интенсификации процесса автоклавного модифицирования силикатных связующих материалов с использованием электрического поля. Использование электрофизических методов обработки (электрогидравлической и дезинтегральной) позволило получить модифицированные силикатные связующие материалы, аналогичные по свойствам, модифицированным силикатным связующим автоклавного производства.

Составы смесей отличаются высокой реакционной способностью, пластичностью, прочностью, а также облегченной выбиваемостью из отливок.

Получение равномерно распределенной по поверхности зерен наполнителя пленки связующего материала позволило наиболее полно реализовать адгезионные свойства связующего материала. Разработаны способы ультразвуковой и электрогидравлической регенерации жидкостекольных смесей.

При температурах свыше 400 °С в отвержденной пленке модифицированного силикатного связующего происходит деструкция органической полимерной составляющей, что приводит к нарушению сплошности структуры и резкому снижению когезионной прочности, т. е. к улучшению выбиваемости смесей из отливок.

Вследствие деструкции полимерных модификаторов образующиеся термостойкие карбонизированные продукты, блокирующие глобулы силикагеля, способствуют увеличению температуры плавления силикатной системы. При этом если высокомолекулярные углеводородные модификаторы способны смещать эту температуру максимум до 845–850 °С, то полимерные фосфаты натрия в результате взаимодействия с силикатом натрия при высоких температурах способствуют образованию многокомпонентной системы, имеющей температуру плавления 1020–1030 °С. Нагрев до высоких температур и последующее охлаждение форм и стержней приводит к их существенному разупрочнению, т.е. улучшению выбиваемости, что связано с повышением величины внутренних напряжений и снижением когезионной прочности пленок связующего, подвергающихся подобным термоциклическим нагрузкам.

Показано, что использование электрофизических методов дает возможность получать модифицированные силикатные связующие материалы, аналогичные по своим свойствам, полученным при автоклавном растворении.

Разработке нового способа приготовления жидкого стекла, составов формовочных и стержневых смесей на его основе, обеспечивающих улучшение выбиваемости из отливок и необходимый уровень технологических свойств при минимальном содержании жидкого стекла, посвящены работы [15, 16]. Проведены исследования свойств жидкостекольного связующего, полученного безавтоклавным способом растворения щелочного силиката натрия ударно-волновой обработкой (УВО).

Выявлены закономерности и особенности процесса, происходящие при отверждении смесей на жидкостекольном связующем, полученном из нанодиспергированного ударно-волновой обработкой щелочного силиката натрия. Ударно-волновая обработка позволяет получать наноразмерные порошки натриевой силикат-глыбы с размерами частиц основной фракции от 100 до 200 нм, что достигается при реализации импульса давления в диапазоне 0,12–0,16 МПа·с.

Гранулометрический состав диспергированного щелочного силиката натрия и кремнеземсодержащих компонентов зависит от величины импульса давления. Время растворения наноразмерного щелочного силиката натрия при температуре воды 80 °С сокращается до 5 мин, т.е. на порядок меньше по сравнению с известными способами, используемыми при производстве жидкого стекла.

Возрастание адгезии жидкого стекла к кварцу ведет к уменьшению краевого угла смачивания кварца на 18–20%, в результате происходит упрочнение манжет и формирование более плотных пленок на зернах наполнителя. Смеси на предлагаемом связующем обладают повышенными прочностными свойства-

ми, лучшими показателями живучести и осыпаемости по сравнению с аналогичными смесями на жидком стекле, полученном автоклавным способом. Сокращение содержания жидкостекольного связующего в смесях до 4% за счет повышения прочности последних на 25–30% позволило существенно улучшить выбиваемость. Величина работы выбивки смесей независимо от способа отверждения уменьшается во всем исследуемом интервале температур.

Перспективным направлением является совмещение физических и химических методов модифицирования жидкого стекла. Физические поля способствуют интенсификации процессов растворения химических добавок в связующем материале. Эффективно используемые в процессе автоклавного растворения материалы в большинстве случаев очень плохо растворяются в жидком стекле при нормальных условиях. Наличие физических полей способствует раскручиванию полимерных цепочек модификатора, инициированию новых реакций с образованием водородных или химических связей между ними и мицеллами жидкого стекла, в результате происходит изменение структуры связующего и его физико-химических свойств.

Применение электрофизических методов воздействия позволяет на 20–30% сократить количество дорогостоящих и дефицитных связующих материалов, в 2–4 раза повысить производительность труда на участках смесеприготовления и изготовления форм и стержней, на 60–80% уменьшить длительность приготовления силикатных связующих материалов.

Основными недостатками электрофизических методов воздействия являются кратковременность сохранения связующим приобретенных свойств, трудность обеспечения стабильности эффекта обработки, а также отсутствие централизованного изготовления необходимого оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Кукуй Д. М.** Новые направления развития жидкостекольных смесей / Д. М. Кукуй // Обзорная информация. Технология литейного производства. Минск: БелНИИНТИ, 1990. 64 с.

2. Кукуй Д. М. Исследование процессов активации связующих материалов электрическими полями: дис. … канд. техн. наук. Минск, 1974. 207 с.

3. **Иванов Н. Х.** Упрочнение смесей ультразвуком при изготовлении стержней / Н. Х. Иванов // Литейное производство. 1975. № 9. 26 с.

4. **Jelinek P. und Petricova, Ostrava, Hahnel U. und Flemmingtg E., Freiberg.** Moglichkeiten der Modifizierung von Wasserfglaslosungen durch Magnetfeld und Ultraschallbehandlung und praktische Erfahrungen βei der Anwendung von magnetbehansdelten Wasserglastosunaen in der ČSSR (Teil 1). Giessereitechnik, 1981. Vol. 12. P. 370–373.

5. **Классен В. И.** Омагничивание водных систем / В. И. Классен. М.: Химия, 1982. 296 с.

6. **Аксельрод Г. А.** Растворение твердых веществ / Г. А. Аксельрод, А. Д. Молчанов. М.: Химия, 1977. 268 с.

7. **Повх И. Л.** Техническая гидродинамика / И. Л. Повх. М.: Машиностроение, 1969. 542 с.

8. **Иодо А. Е.** Исследование, разработка и внедрение технологического процесса электрогидравлического модифицирования жидкого стекла: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 1990. 20 с.

9. **Ледян Ю. П.** Состояние и перспективы использования электронно-ионной технологии в литейном производстве / Ю. П. Ледян, Д. М. Кукуй, А. М. Дмитрович // Обзорная информация. Минск, 1978. 55 с.

10. **Рыжков И. В**. Электрофорез в литейном производстве / И. В. Рыжков, В. Д. Пепенко, А. А. Ридный и др. // Литейное производство. 1977. № 11. С. 30–31.

11. **Дорошенко С. П.** Исследование процесса твердения стержневых смесей в электрическом поле токов высокой частоты / С. П. Дорошенко, К. И. Ващенко, М. И. Прилуцкий и др. // Формовочные материалы и формообразование. Киев: ИПЛ АН УССР. 1975.

12. **Вишняков Х. И.** Жидкостекольные самотвердеющие смеси с омагниченным связующим / Х. И. Вишняков // Литейное производство. 1976. № 2. С. 21.

13. **Писаренко И. Н.** Магнитная обработка композиции феррохромовый шлак – жидкое стекло – вода / И. Н. Писаренко, Н. П. Юрченко // Литейное производство. 1975. № 10. С. 21.

14. **Cojkova R., Novotny V.** Mornosti praktickeho vyuziti zpracovane vodniho skla v magnetickempoli // Slevarenstvi. 1978. Vol. 26. No 2–3. P. 96–99.

15. **Кукуй Д. М**. Теоретические основы упрочнения и разработка технологических, химических и электрофизических методов интенсификации процессов отверждения и регенерации жидкостекольных смесей: дис. … д-ра техн. наук. Минск, 1987. 643 с.

16. **Юрасов В. В.** Исследование растворения силикат-глыбы, активированной ударно-волновой обработкой / В. В. Юрасов, Т. Ш. Сильченко, Н. А. Кидалов и др. // Литейщик России. 2008. № 10. С. 33–35.

17. **Юрасов В. В.** Разработка жидкостекольного связующего для смесей литейного производства из нанодиспергированных ударно-волновой обработкой щелочных силикатов натрия / В. В. Юрасов, Т. Ш. Сильченко, Н. А. Кидалов и др. // Литейщик России. 2011. № 2. С. 42–46.

REFERENCES

1. **Kukuj D. M.** Novye napravleniya razvitiya zhidkostekol’nyh smesej [New directions of development of liquid-glass mixtures]. *Obzornaya informaciya. Tekhnologiya litejnogo proizvodstva = Overview information. Technology of foundry*. Minsk, BelNIINTI Publ., 1990, 64 p.

2. **Kukuj D. M.** *Issledovanie processov aktivacii svyazuyushchih materialov ehlektricheskimi polyami. Diss. kand. tekhn. nauk* [Research of the processes of activation of binding materials by electric fields. Ph. D. In Engineering]. Minsk, 1974. 207 p.

3. **Ivanov N. H.** Uprochnenie smesej ul'trazvukom pri izgotovlenii sterzhnej [Strengthening of mixtures by ultrasound in the manufacture of rods]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production*, 1975, no. 9, pp. 26.

4. **Jelinek P. und Petricova, Ostrava, Hahnel U. und Flemmingtg E., Freiberg.** Moglichkeiten der Modifizierung von Wasserfglaslosungen durch Magnetfeld und Ultraschallbehandlung und praktische Erfahrungen βei der Anwendung von magnetbehansdelten Wasserglastosunaen in der ČSSR (Teil 1). Giessereitechnik, 1981, no. 12, pp. 370–373.

5. **Klassen V. I.** *Omagnichivanie vodnyh sistem* [Magnetization of water systems]. Moscow, Khimiya Publ., 1982. 296 p.

6. **Aksel'rod G. A., Molchanov A. D.** *Rastvorenie tverdyh veshchestv* [Dissolution of solids]. Moscow, Khimiya Publ., 1977. 268 p.

7. **Povh I. L.** *Tekhnicheskaya gidrodinamika* [Technical Hydrodynamics]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1969. 542 p.

8. **Iodo A. E.** *Issledovanie, razrabotka i vnedrenie tekhnologicheskogo processa ehlektrogidravlicheskogo modificirovaniya zhidkogo stekla. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk* [Research, development and implementation of the technological process of electro-hydraulic fluid glass modification. Abstract of Ph. D. In Engineering]. Minsk, 1990. 20 p.

9. **Ledyan Yu. P., Kukuj D. M., Dmitrovich A. M.** Sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya ehlektronno-ionnoj tekhnologii v litejnom proizvodstve [The state and prospects of the use of electron-ion technology in foundry]. *Obzornaya informaciya = Overview information*. Minsk, 1978. 55 p.

10. **Ryzhkov I. V., Pepenko V. D., Ridnyj A. A.** Elektroforez v litejnom proizvodstve [Electrophoresis in foundry]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production*, 1977, no. 11, pp 30–31.

11. **Doroshenko S. P., Vashchenko K. I., Priluckij M. I.** Issledovanie processa tverdeniya sterzhnevyh smesej v ehlektricheskom pole tokov vysokoj chastoty [Investigation of the hardening of core mixtures in the electric field of high-frequency currents]. *Formovochnye materialy i formoobrazovanie = Molding materials and shaping*. Kiev, IPL AN USSR Publ., 1975.

12. **Vishnyakov H. I.** Zhidkostekol'nye samotverdeyushchie smesi s omagnichennym svyazuyushchim [Liquid-glass self-hardening mixtures with a magnetized binder]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production*, 1976, no. 2, pp. 21.

13. **Pisarenko I. N., Yurchenko N. P.** Magnitnaya obrabotka kompozicii ferrohromovyj shlak – zhidkoe steklo – voda [Magnetic treatment of the composition ferrochrome slag – liquid glass – water]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production*, 1975, no. 10, pp. 21.

14. **Cojkova R., Novotny V.** Mornosti praktickeho vyuziti zpracovane vodniho skla v magnetickempoli, *Slevarenstvi*, 1978, vol. 26, no. 2–3, pp. 96–99.

15. **Kukuj D. M.** *Teoreticheskie osnovy uprochneniya i razrabotka tekhnologicheskih, himicheskih i ehlektrofizicheskih metodov intensifikacii processov otverzhdeniya i regeneracii zhidkostekol'nyh smesej. Diss. dokt. tekhn. nauk* [Theoretical bases of hardening and development of technological, chemical and electrophysical methods of intensification of processes of solidification and regeneration of liquid-glass mixtures. Dr. tech. sci. diss]. Minsk, 1987. 643 p.

16. **Yurasov V. V., Sil'chenko T. Sh., Kidalov H. A.** Issledovanie rastvoreniya silikat-glyby aktivirovannoj udarno-volnovoj obrabotkoj [Study of the dissolution of a silicate block by activated shock wave processing]. *Litejshchik Rossii = Foundryman of Russia*, 2008, no. 10, pp. 33–35.

17. **Yurasov V. V., Sil'chenko T. Sh., Kidalov H. A.** Razrabotka zhidkostekol'nogo svyazuyushchego dlya smesej litejnogo proizvodstva iz nanodispergirovannyh udarno-volnovoj obrabotkoj shchelochnyh silikatov natriya [Development of a liquid-glass binder for mixtures of foundry production from nanodispersed by shock-wave treatment of alkali sodium silicates]. *Litejshchik Rossii = Foundryman of Russia*, 2011, no. 2, pp. 42–46.

САПР

УДК 621.74:539

Поступила 07.03.2018

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИИ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР В ДЕТАЛИ ПРИ ПОСТОЯННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ НАГРЕВАНИЯ

А. Н. ЧИЧКО, Институт тепло- и массообмена НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь, ул. П. Бровки, 15. E-mail: chichko_a_n@mail.ru,
С. Г. ЛИХОУЗОВ, О. А. САЧЕК, О. И. ЧИЧКО, Т. В. МАТЮШИНЕЦ, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: osachok@mail.ru

Рассчитаны функции плотности распределения температур детали на основе результатов численного моделирования процесса нагрева. Предложены характеристики функции распределения температур детали для анализа уровня формирования термических напряжений. Показано, что разность между максимальными и минимальными температурами детали изменяется нелинейно от времени нагрева детали в печи. Предложен метод формализации данных численного моделирования для выбора наилучших термических режимов нагрева деталей.

Ключевые слова. *Функция плотности распределения температур, нагрев детали, численное моделирование.*
Для цитирования. *Чичко, А. Н. Моделирование функции плотности распределения температур в детали при постоянной температуре нагревания / А. Н. Чичко, С. Г. Лихоузов, О. А. Сачек, О. И. Чичко, Т. В. Матюшинец // Литье и металлургия. 2018. Т. 91. № 2. С. 57–64.*

MODELING OF THE TEMPERATURE DISTRIBUTION DENSITY FUNCTION IN A DETAIL AT A CONSTANT HEATING TEMPERATURE

A. N. CHICHKO, Institute of Heat and Mass Transfer of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, 15, P. Brovki str. E-mail: chichko_a_n@mail.ru,
S. G. LIKHOUSOV, O. A. SACHEK, O. I. CHICHKO, T. V. MATYUSHINETS, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: osachok@mail.ru

The functions of the temperature distribution density of the detail on the basis of the results of numerical simulation of the heating process are calculated. Characteristics of the temperature distribution function of the detail for analysis of the level of formation of thermal stresses are proposed. It was shown that the difference between the maximum and minimum temperatures of the detail varies nonlinearly with the time of heating the detail in the furnace. The method for formalizing numerical simulation data for selecting the best thermal modes for heating details is proposed.

Keywords. *Temperature distribution density function, detail heating, numerical simulation.*
For citation. *Chichko A. N., Likhousov S. G., Sachek O. A., Chichko O. I., Matyushinets T. V. Modeling of the temperature distribution density function in a detail at a constant heating temperature. Foundry production and metallurgy, 2018, vol. 91, no. 2, pp. 57–64.*

Введение

Моделирование процессов нагрева и охлаждения технологических объектов – один из важнейших инструментов работы современного разработчика технологий. Многолетние исследования сотрудников кафедры «Машины и технология литейного производства» Белорусского национального технического университета позволили разработать математические модели и программные средства для решения целого класса технических задач [1–3], связанных с процессом нагрева промышленных изделий. В [4–7] были рассмотрены варианты клеточно-автоматного подхода к решению задач численного моделирования процессов нагрева и охлаждения объектов различного назначения, что является научным вкладом в развитие методов оптимизации процессов нагрева промышленных деталей.

Настоящая работа является развитием методов моделирования процессов нагрева на основе характеристик статистического распределения температур в 3*D*-объекте. Опыт наших исследовательских работ

показывает, что функция плотности статистического распределения температур служит важной характеристикой распределения температурных полей по всему объему детали. Эта функция является показателем вероятности образования термических напряжений, которые образуются в процессе неравномерного прогрева различных узлов детали, помещенной в печь для проведения термических операций.

Цель работы – оценка параметров функции плотности статистического распределения температур детали на основе численного расчета процесса нагрева детали в печной среде постоянной температуры.

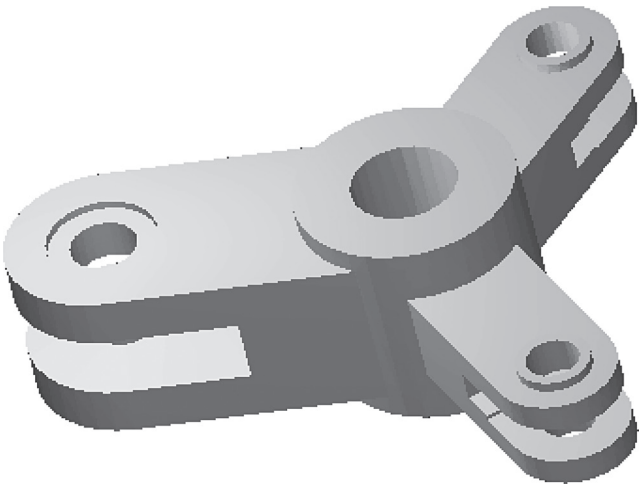


Рис. 1. 3*D*-модель детали для численного моделирования

Для реализации цели работы использовано уравнение теплопроводности в конечно-разностной форме, которое реализовано в компьютерной системе «ПроТерм-1» [8]. Уравнение теплопроводности решается при заданной системе начальных и граничных условий для 3*D*-детали (рис. 1), помещенной в печную среду с однородной заданной температурой.

При проведении расчетов использованы следующие начальные условия ($\tau = 0$ с) для детали и печной среды: $T(\Omega_1) = 20$ °С (Ω_1 – множество точек, находящихся в 3*D*-объекте детали); $T(\Omega_2) = 850$ °С (Ω_2 – множество точек печной среды, окружающих поверхность 3*D*-объекта детали). Деталь, показаная на рис. 1, имела теплофизические свойства стали ($\rho = 7810$ кг/м^3) и помещалась в виртуальную нагревательную печь, в которой проводили нагрев. Деталь была импортирована в систему «ПроТерм-1», в которой создана ее сеточная модель. Каждому сеточному элементу присваивали начальные температурные значения и теплофизические свойства, которые получали путем интерполяции и экстраполяции следующих данных:

- удельная теплоемкость c_1, задаваемая в табличном виде: $c_1 = 470$ Дж/(кг·ºС) (100 °С), 483 (200 °С), 525 (400 °С), 571 (600 °С);
- коэффициент теплопроводности λ_1, задаваемый в табличном виде: $\lambda_1 = 60$ Вт/(м·ºС) (100 °С), 53 (200 °С), 47 (400 °С), 41 (500 °С).

Результаты расчетов численного моделирования и их параметризация

Результатом численного моделирования являются распределения температур в 3*D*-пространстве детали, вычисленные в системе «ПроТерм-1». На рис. 2 показаны температурные поля в сечениях $XY = 5$, $XZ = 72$ детали для момента времени нагрева ее в печи $t = 100$ с. Цветному изображению температур 3*D*-детали соответствует рассчитанная табулированная трехмерная таблица температур, с помощью которой строили функцию плотности статистического распределения температур 3*D*-детали (рис. 3–5).

На рисунках представлены статистические распределения рассчитанных температур детали в процессе ее нагрева в виртуальной печи с температурой $T(\Omega_2) = 850$ °С для различных моментов времени нагрева. Как видно из рисунков, температурные распределения характеризуются разным количеством прогретых и непрогретых сеточных элементов детали. Так, число сеточных элементов с температурой 248,50 °С составляет около 20 000 элементов, в то же время количество элементов с температурой 402,62 °С не превышает 5000 (рис. 3, *а*). При общей схожести распределений для разных времен нагрева следует отметить различный диапазон распределения температур по оси T °С, что позволяет формализовать рассчитанное изображение с целью минимизации его параметров. С течением времени в процессе нагрева происходит изменение температурных диапазонов и некоторое перераспределение температур внутри детали. Общий характер распределения температур является характеристикой геометрии детали и может значительно изменяться с течением времени нагрева детали в печи.

Анализ представленных статистических распределений по температурам для различных моментов времени показывает, что распределения температур в разные моменты времени имеют два пика. Для момента времени $t = 600$ с первый пик распределения формируется на температурном интервале [255,5 °С; 269,5 °С) и достигает значения 26 762 о. е., второй пик – на температурном интервале [297,5 °С; 311,5 °С) и достигает значения 29 086 о. е. Для момента времени $t = 1200$ с первый пик формируется на температурном интервале [452,9 °С; 463,9 °С) и достигает значения 26 585 о. е., второй пик – на температурном интервале [497,0 °С;508,0 °С) и достигает значения 28 743 о. е. Для момента времени $t = 1800$ с первый

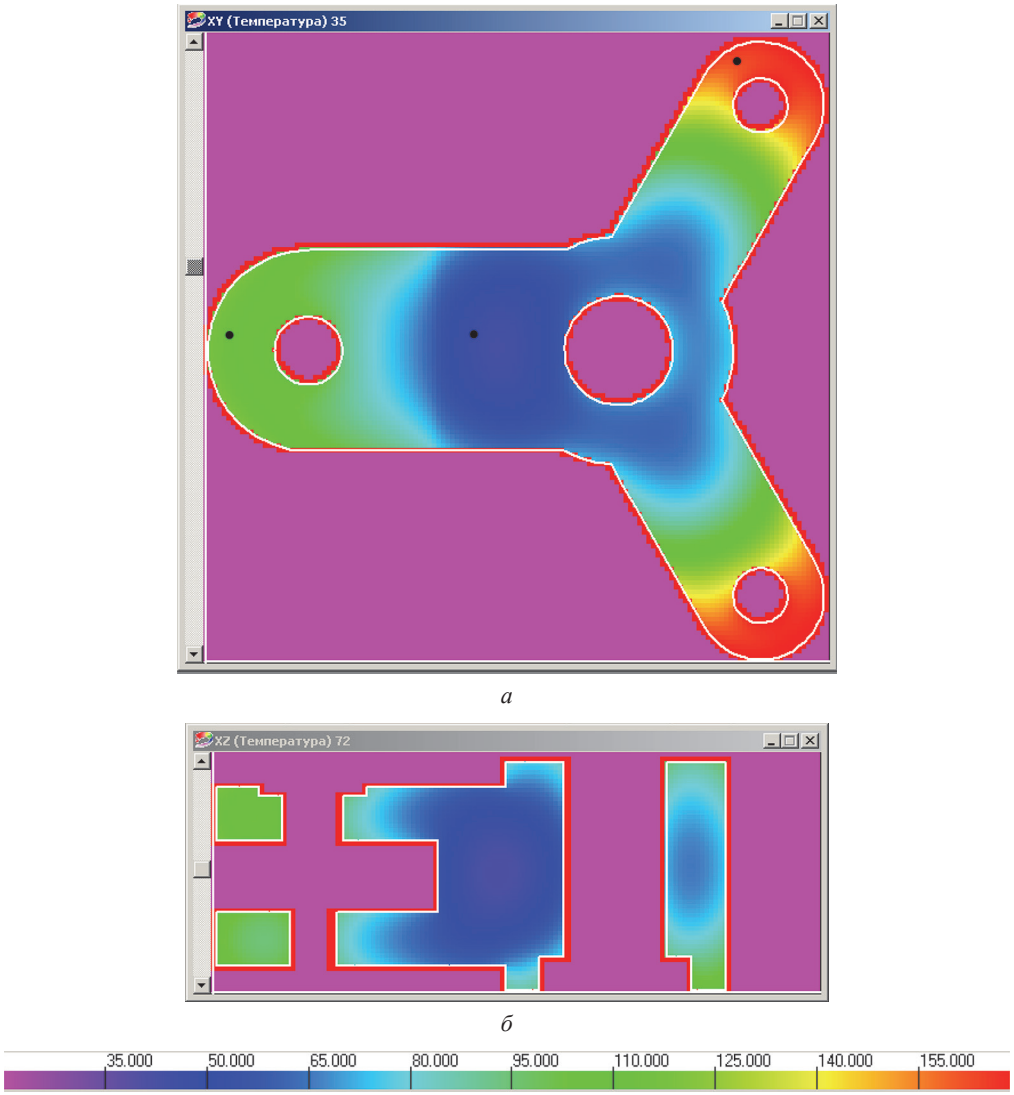


Рис. 2. Температурное поле детали для момента времени нагрева t = 100 с

пик формируется на температурном интервале [589,0 °С; 596,6 °С) и достигает значения 26 306 о. е., второй пик – на температурном интервале [619,3 °С; 626,9 °С) и достигает значения 22 143 о. е. Для момента времени t = 2400 с первый пик формируется на температурном интервале [679,4 °С; 684,4 °С) и достигает значения 26 188 о. е., второй пик – на температурном интервале [704,6 °С; 709,6 °С) и достигает значения 26 208 о. е. Для момента времени t = 3000 с первый пик формируется на температурном интервале [738,6 °С; 742,0 °С) и достигает значения 26 157 о. е., второй пик – на температурном интервале [755,2 °С; 758,5 °С) и достигает значения 27 319 о. е. Для момента времени t = 3600 с первый пик формируется на температурном интервале [774,4 °С; 779,6 °С) и достигает значения 26 158 о. е., второй пик – на температурном интервале [788,2 °С; 790,4 °С) и достигает значения 27 518 о. е. Для момента времени t = 4200 с первый пик формируется на температурном интервале [802,7 °С; 804,1 °С) и достигает значения 26 184 о. е., второй пик – на температурном интервале [809,8 °С; 811,2 °С) и достигает значения 27 590 о. е. Для момента времени t = 4800 с первый пик формируется на температурном интервале [819,1 °С; 820,1 °С) и достигает значения 26 209 о. е., второй пик – на температурном интервале [823,8 °С; 824,7 °С) и достигает значения 27 622 о. е. Для момента времени t = 5400 с первый пик формируется на температурном интервале [829,9 °С; 830,5 °С) и достигает значения 26 215 о. е., второй пик – на температурном интервале [832,9 °С; 833,5 °С) и достигает значения 27 632 о. е. Как видно из рисунков, второй пик распределений на протяжении процесса термообработки смещается вправо в область больших значений температур.

Как видно из представленных зависимостей, характер функции плотности распределения температур имеет свою динамику во времени нагрева и, по-видимому, связан с особенностями 3*D*-геометрии детали.

На рис. 6 показаны диапазоны минимальных, максимальных и средних температур нагреваемой детали. Как видно из рисунка, интервал между максимальными и минимальными температурами нагрева-

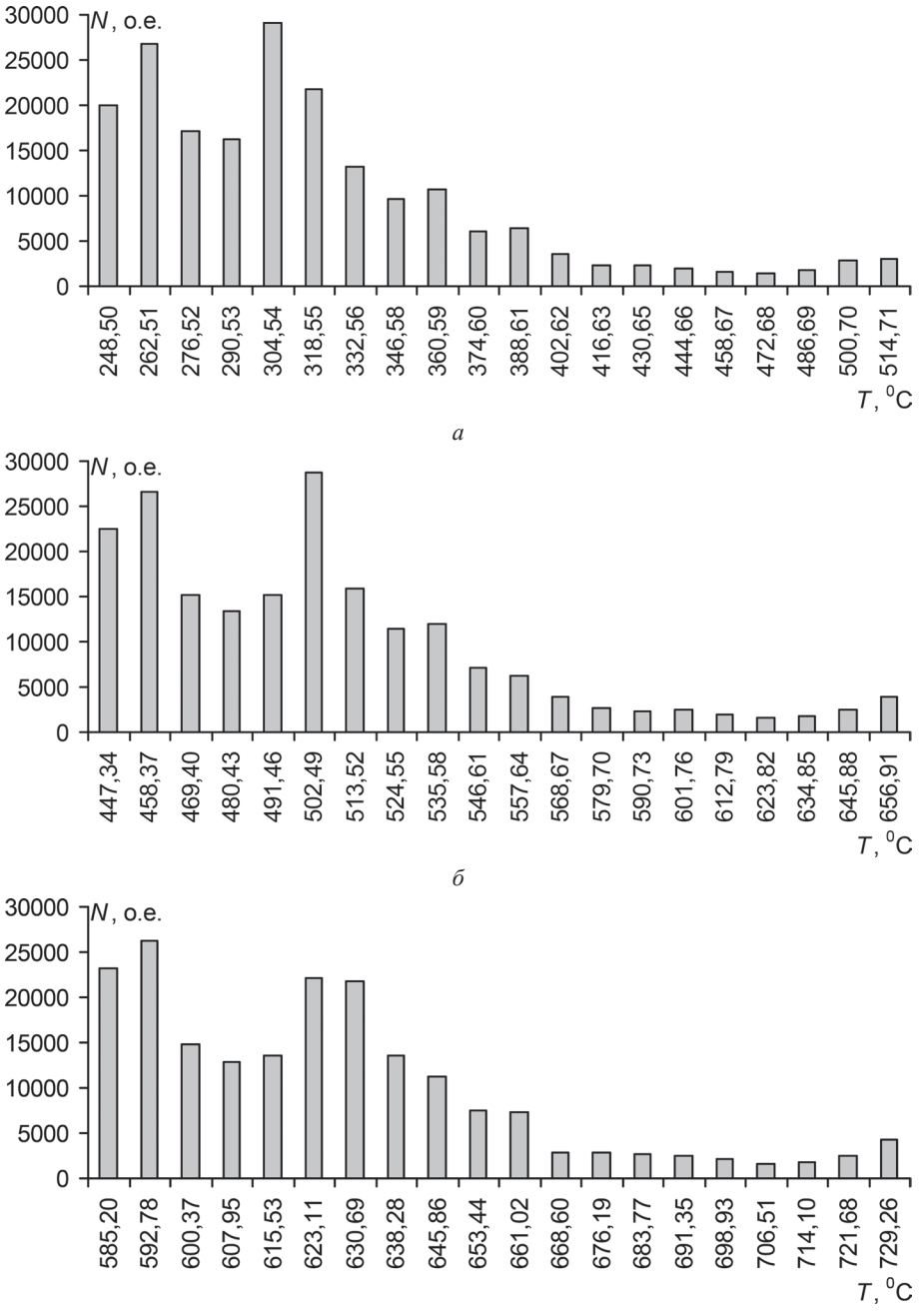


Рис. 3. Функция плотности статистического распределения температур 3*D*-детали (см. рис. 1) для различных моментов времени нагрева: *а* – *t* = 600 с; *б* – 1200; *в* – 1800 с

емой детали на начальном этапе нагрева резко расширяется. Затем наблюдается снижение скорости расширения интервала, и наконец, его сужение по мере приближения к температуре печи. Следует отметить близость средних температур в детали на всем протяжении процесса термообработки к минимальным температурам и их удаленность от максимальных, что говорит о наличии в данной детали перегретых областей, имеющих условия для образования термических напряжений.

Для количественной оценки статистических функций распределения были использованы четыре параметра, которые вычисляются для каждого момента времени процесса нагрева детали по формулам:

$$P_1(t) = T_{\text{ср}}(t) - \frac{\sum_{i=1}^{5} N_i\,(t,T_i)T_i}{\sum_{i=1}^{5} N_i^t(T_i)}, \quad P_2(t) = T_{\text{ср}}(t) - \frac{\sum_{i=6}^{10} N_i\,(t,T_i)T_i}{\sum_{i=6}^{10} N_i^t(T_i)},$$

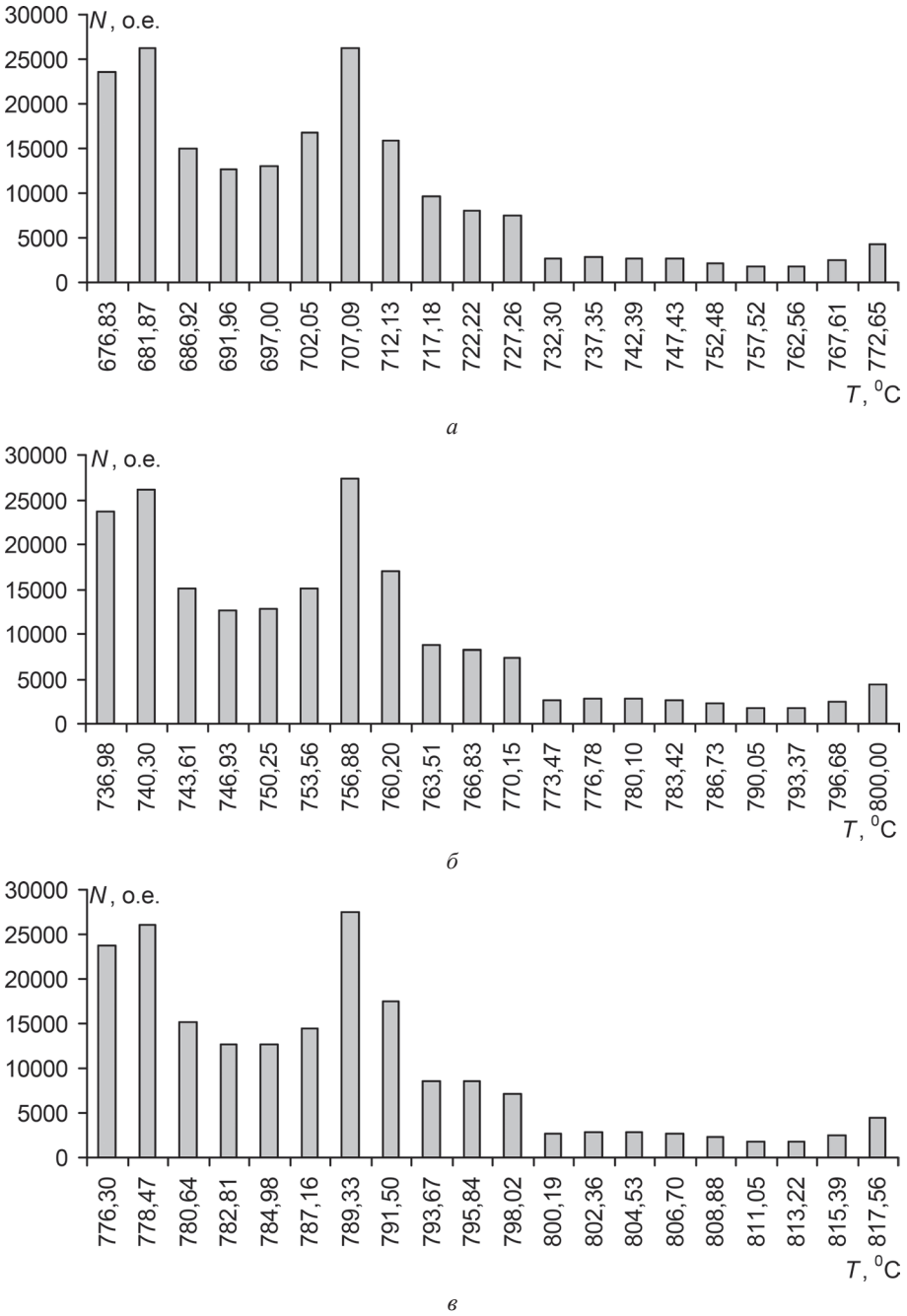


Рис. 4. Функция плотности статистического распределения температур 3*D*-детали (см. рис. 1) для различных моментов времени нагрева: *а* – $t = 2400$ с; *б* – 3000; *в* – 3600 с

$$P_3(t) = T_{\text{ср}}(t) - \frac{\sum_{i=11}^{15} N_i\,(t,T_i)T_i}{\sum_{i=11}^{15} N_i^t(T_i)}, \quad P_4(t) = T_{\text{ср}}(t) - \frac{\sum_{i=16}^{20} N_i\,(t,T_i)\cdot T_i}{\sum_{i=16}^{20} N_i^t(T_i)},$$

где $T_{\text{ср}}(t)$ – среднее значение температуры детали для момента времени t; $N_i\,(t,T_i)$ – число сеточных элементов с температурой T_i для момента времени t; T_i – среднее значение температуры для i-го интервала дискретизации, $i = 1, 20$.

Физический смысл этих параметров сводится к количественной оценке различных групп сеточных элементов от средней температуры объекта. Параметры P_1, P_2, P_3, P_4 позволяют количественно оценить разные группы сеточных элементов по отношению к средней температуре объекта. Это дает возможность использовать статистические функции распределения для оценки вероятности образования термических напряжений, возникающих в процессе термообработки. Чем больше температурное различие

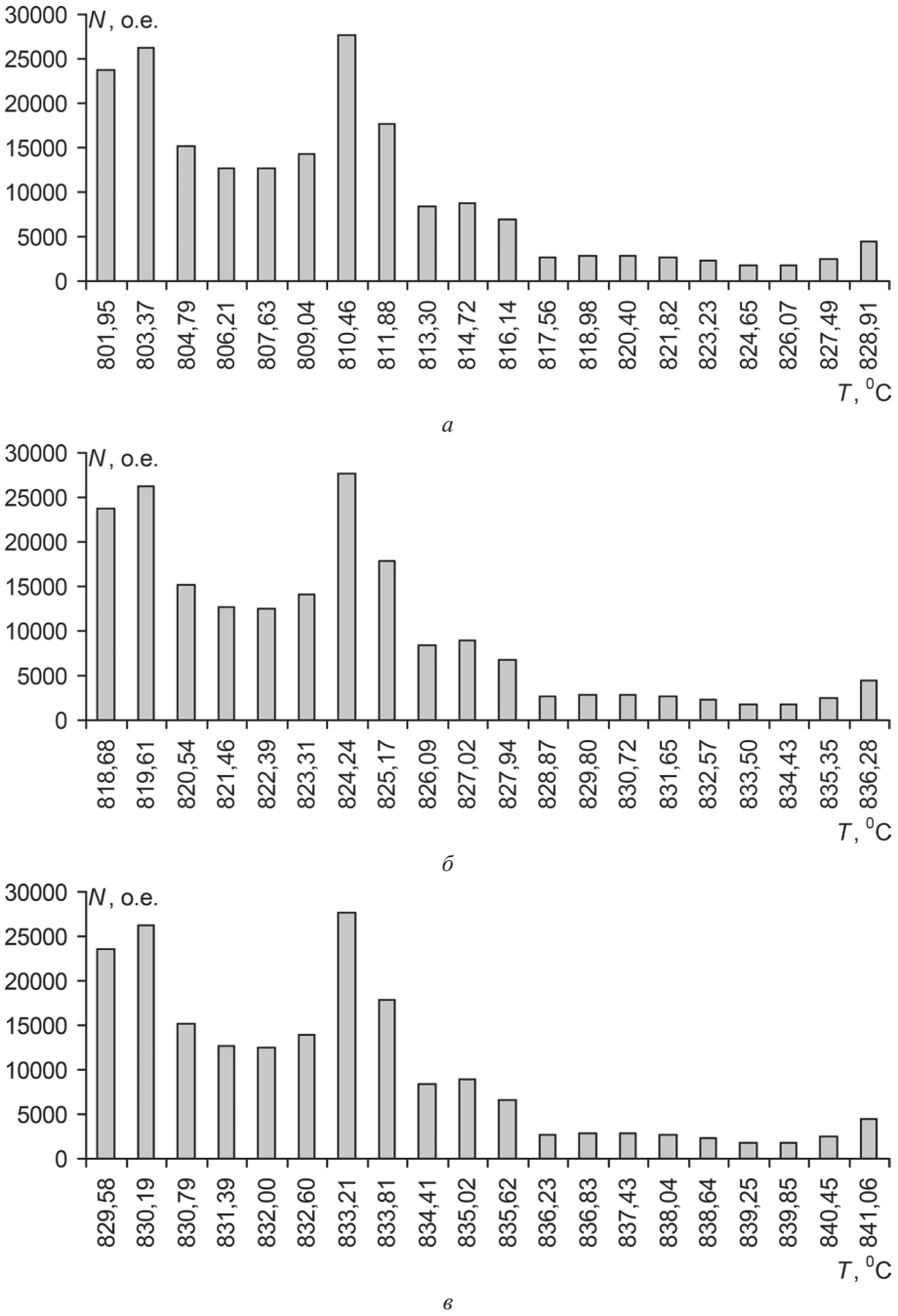


Рис. 5. Функция плотности статистического распределения температур 3*D*-детали (см. рис. 1) для различных моментов времени нагрева: *а* – t = 4200 с; *б* – 4800; *в* – 5400 с

между «холодными» и «горячими» сеточными элементами детали, тем больше склонность к образованию трещин при нагреве детали.

На рис. 7 представлено изменение рассчитанных значений параметров P_1, P_2, P_3, P_4 на протяжении всего процесса нагрева детали. Как видно из рисунка, абсолютные значения параметров возрастают на начальном этапе нагрева. Так, параметр P_1 уменьшается до момента времени t = 900 с, достигая значения -44 °С, параметр P_2 возрастает до момента времени t = 400 с, достигая значения 21 °С, параметр P_3 возрастает до момента времени t = 500 с, достигая значения 89 °С, параметр P_4 возрастает до момента времени t = 500 с, достигая значения 174 °С. Затем наблюдается снижение абсолютных значений статистических параметров, вначале более резкое, затем более плавное. Этот этап характеризует перераспределение тепла внутри детали и выравнивание значений температур по всему объему детали.

Параметры распределения температур P_1, P_2, P_3, P_4 могут быть использованы для построения интегральных показателей термонапряженного состояния. Так, на рис. 8 показан график разности параметров P_4 и P_1 на протяжении всего процесса нагрева детали. Как видно из рисунка, к моменту времени t = 500 с

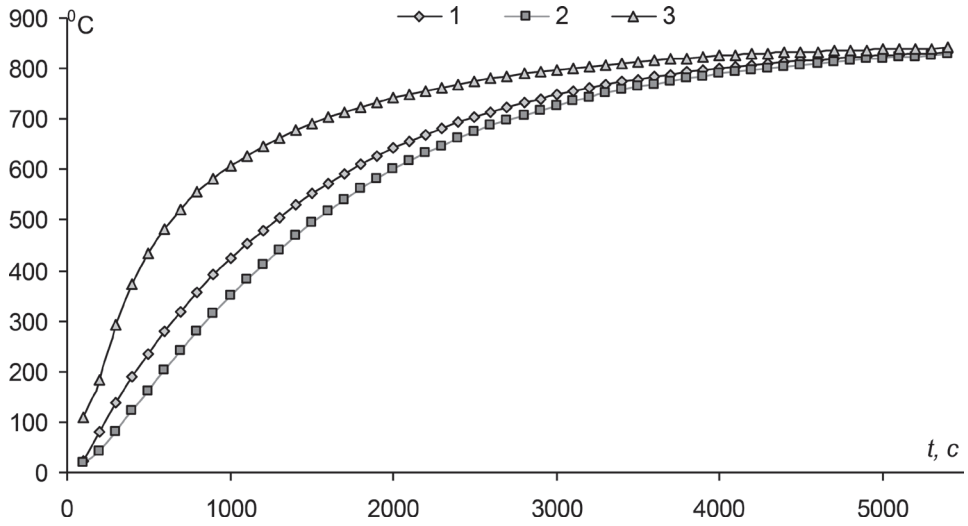


Рис. 6. Зависимость расчетных температур от времени нагрева детали в печи постоянной температуры: *1* – средние температуры; *2* – минимальные температуры; *3* – максимальные температуры

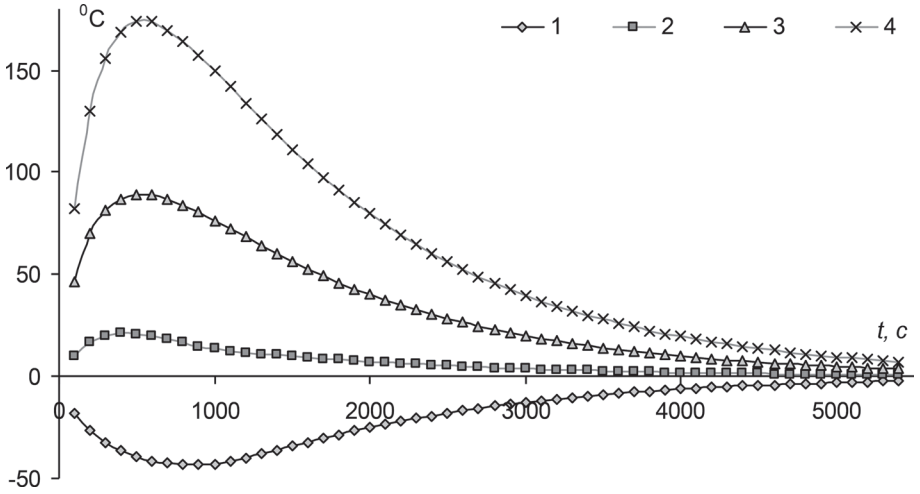


Рис. 7. Зависимость параметров распределения температур P_1, P_2, P_3, P_4 от времени нагрева детали в печи постоянной температуры: *1* – P_1; *2* – P_2; *3* – P_3; *4* – P_4

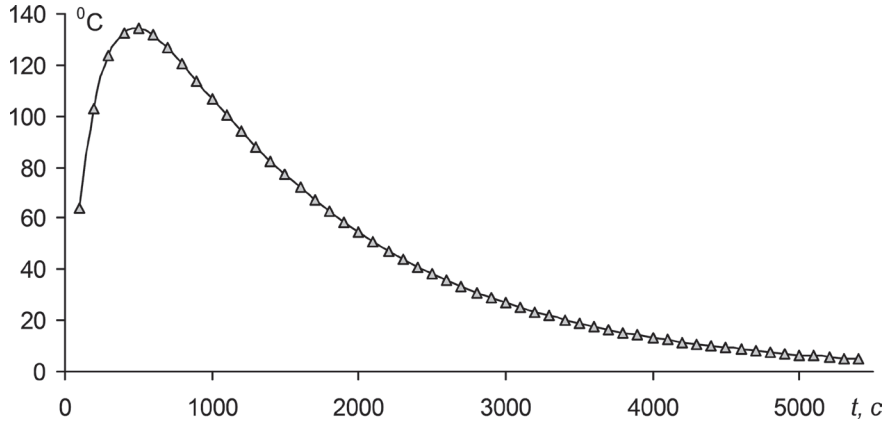


Рис. 8. Зависимость разности параметров P_4 и P_1 от времени нагрева детали в печи постоянной температуры

разность параметров P_4 и P_1 достигает пика и составляет 134 °С. Разность параметров P_4 и P_1 характеризует степень термических напряжений в детали. Чем больше значение, тем больше вероятность возникновения термических напряжений в детали.

Выводы

Предложен метод анализа процесса формирования термических напряжений от времени с помощью параметризации функций плотности распределения температур нагрева детали. Распределение темпера-

тур детали рассчитано на основе численных методов моделирования процесса нагрева. На количественном уровне показано, что интервал между максимальными и минимальными температурами в нагреваемой детали на начальном этапе нагрева расширяется, а затем наблюдается снижение скорости расширения интервала, что свидетельствует о создании условий возникновения термических напряжений в данной детали именно на начальном этапе нагрева. Функция плотности распределения температур может быть использована для решения задач оптимизации процесса нагрева деталей промышленного производства с целью минимизации термических напряжений.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Чичко А. Н., Сачек О. А.** Математическое моделирование процесса цементации на основе уравнения теплопроводности и диффузии // Литье и металлургия. 2008. № 2. С. 88–92.

2. **Чичко А. Н., Сачек О. А.** О точности методов численного моделирования процессов нагрева и охлаждения объектов, используемых в задачах оптимизации расходования энергоресурсов // Изв. высш. учеб. завед. и энергет. объед. СНГ. Энергетика. 2008. № 1. С. 34–43.

3. **Чичко А. Н., Бороздин А. В., Сачек О. А.** Алгоритмы теории графов и оптимизация режимов нагрева пространственного объекта // Литье и металлургия. 2007. № 2. С. 110–114.

4. **Чичко А. Н., Сачек О. А., Бороздин А. В.** Сравнительный анализ аналитического и численного решения тепловой задачи, использующей уравнение теплопроводности // Литье и металлургия. 2007. № 2. С. 94–101.

5. **Чичко А. Н., Бороздин А. С.** Трехмерное моделирование напряженного состояния движущегося слитка при изменении граничных условий по температуре // Изв. вузов. Энергетика. 2005. № 4. С. 61–67.

6. **Чичко А. Н., Андрианов Н. В., Бороздин А. С.** Компьютерная система «ПроТерм-1н» – для моделирования процессов ступенчатого нагрева стальных слитков // Сталь. 2005. № 11. С. 66–71.

7. **Чичко А. Н., Бороздин А. С.** Математическая модель расчета напряжений движущегося в печи слитка // Изв. вузов. Черная металлургия. 2005. № 8. С. 47–50.

8. **Чичко А. Н., Кукуй Д. М., Соболев В. Ф., Лихоузов С. Г., Сачек О. А.** Моделирование процессов нагрева и охлаждения деталей на основе трехмерного уравнения теплопроводности в CAE «ПроТерм-1» // Литье и металлургия. 2012. № 1. С. 65–70.

REFERENCES

1. **Chichko A. N., Sachek O. A.** Matematicheskoe modelirovanie processa cementacii na osnove uravnenija teploprovodnosti i diffuzii [Mathematical modeling of the cementation process on the basis of the heat conduction and diffusion equation]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2008, no. 2, pp. 88–92.

2. **Chichko A. N., Sachek O. A.** O tochnosti metodov chislennogo modelirovanija processov nagreva i ohlazhdenija ob''ektov, ispol'zuemyh v zadachah optimizacii rashodovanija yenergoresursov [On the accuracy of numerical simulation methods for heating and cooling of objects used in optimization of energy resources consumption]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenii i yenergeticheskih ob'edinenii SNG. Yenergetika = Proceedings of the cis Higher Education Institutions and Power Engineering Associations. Energetika*, 2008, no. 1, pp. 34–43.

3. **Chichko A. N., Borozdin A. V., Sachek O. A.** Algoritmy teorii grafov i optimizacija rezhimov nagreva prostranstvennogo ob''ekta [Algorithms of graph theory and optimization of heating modes for a three-dimensional object]. *Lit'e i metallurgija= Foundry production and metallurgy*, 2007, no. 2, pp. 110–114.

4. **Chichko A. N., Sachek O. A., Borozdin A. V.** Sravnitel'nyi analiz analiticheskogo i chislennogo reshenija teplovoi zadachi, ispol'zuyushei uravnenie teploprovodnosti [Comparative analysis of the analytical and numerical solution of the thermal problem using the heat equation]. *Lit'e i metallurgija= Foundry production and metallurgy*, 2007, no. 2, pp. 94–101.

5. **Chichko A. N., Borozdin A. S.** Trehmernoe modelirovanie naprjazhennogo sostojanija dvizhushegosja slitka pri izmenenii granichnyh uslovii po temperature [Three-dimensional modeling of the stressed state of a moving ingot with a change in the temperature boundary conditions]. *Izvestiya Vuzov. Energetika = Proceedings of the cis Higher Education Institutions. Power engineering*, 2005, no. 4, pp. 61–67.

6. **Chichko A. N., Andrianov N. V., Borozdin A. S.** Komp'yuternaja sistema «ProTerm–1n»- dlja modelirovanija processov stupenchatogo nagreva stal'nyh slitkov [Computer system «ProTerm-1n» – for modeling the processes of stepwise heating of steel ingots]. *Stal'= Steel*, 2005, no. 11, pp. 66–71.

7. **Chichko A. N., Borozdin A. S.** Matematicheskaja model' rascheta naprjazhenii dvizhushegosja v pechi slitka [A mathematical model for calculating the stresses of an ingot moving in a furnace]. *Izvestiya Vuzov. Chernaja metallurgija = Proceedings of high schools. Ferrous metallurgy*, 2005, no. 8, pp. 47–50.

8. **Chichko A. N., Kukuj D. M., Sobolev V. F., Lihouzov S. G., Sachek O. A.** Modelirovanie processov nagreva i ohlazhdenija detalei na osnove trehmernogo uravnenija teploprovodnosti v CAE «ProTerm-1»[Modeling of heating and cooling of parts on the basis of the three-dimensional heat equation in CAE «ProTerm-1»]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2012, no. 1, pp. 65–70.

МЕТАЛЛУРГИЯ

УДК 661.746

Поступила 22.05.2018

ПОКАЗАТЕЛИ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ СТРАН СНГ И БЫВШЕГО СССР ДО 2000 Г.

В. И. ТИМОШПОЛЬСКИЙ, И. А. ТРУСОВА, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. Тел. +375 29 655 40 17

В последнее время в мировой черной металлургии реализовывалось два направления ее развития: строительство и ввод в эксплуатацию современных мини-заводов; модернизация предприятий с полным металлургическим циклом. Несмотря на ряд преимуществ мини-заводов, мировой рост производства стали в последние десятилетия осуществлялся в большей степени за счет строительства и ввода в эксплуатацию конвертерного производства в Китае. В статье представлены данные по развитию и реструктуризации металлургических предприятий с полным циклом, в первую очередь, в условиях черной металлургии стран СНГ и бывшего СССР. Приведены основное технологическое оборудование по металлургическим переделам, включая производство чугуна, стали, заготовок, готового проката, а также объемы производства в год по ведущим предприятиям СНГ и бывшего СССР.

Отмечено, что в связи с ежегодным переоснащением производственных мощностей основных цехов в черной металлургии бывшего СССР подготовка высококвалифицированных инженерных и рабочих кадров составляла наиважнейшую государственную задачу.

Ключевые слова. *Черная металлургия, металлургические мини-заводы, предприятия с полным металлургическим циклом, основное технологическое оборудование. годовой объем производства, чугун, сталь, прокат.*

Для цитирования. *Тимошпольский В. И. Показатели черной металлургии стран СНГ и бывшего СССР до 2000 года / В. И. Тимошпольский, И. А. Трусова // Литье и металлургия. 2018. Т. 91. № 2. С. 65–72.*

INDICATORS OF FERROUS METALLURGY OF THE CIS COUNTRIES AND FORMER USSR TO THE YEAR 2000

V. I. TIMOSHPOLSKII, I. A. TRUSOVA, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. Tel. +375 29 655 40 17

Over the past decades, the world's steel industry has implemented two areas of its development: construction and commissioning of modern mini-plants; modernization of enterprises with a full metallurgical cycle. Despite a number of advantages of mini-plants, the global growth of steel production since 2000 has been largely due to the construction and commissioning of Converter production in China. The article presents data on the development and restructuring of metallurgical enterprises with a full cycle, primarily in the conditions of ferrous metallurgy of the CIS and former USSR. The main technological equipment for metallurgical processing, including the production of iron, steel, blanks, finished products, as well as the volume of production per year for the leading enterprises of the CIS and the former USSR was described in the article.

It is also noted that in connection with the annual re-equipment of the production capacity of the main workshops in the steel industry of the former USSR, the training of highly qualified engineers and workers was the most important task of the state.

Keywords. *Ferrous metallurgy, metallurgical mini-plants, enterprises with a full metallurgical cycle, the main technological equipment. annual production, cast iron, steel, rolled products.*

For citation. *Timoshpolskii V. I., Trusova I. A. Indicators of ferrous metallurgy of the cis countries and former USSR to the year 2000. Foundry production and metallurgy, 2018, vol. 91, no. 2, pp. 65–72.*

Развитие металлургического производства в мировой практике на протяжении последних десятилетий осуществлялось по двум направлениям:

- проектирование и внедрение в эксплуатацию современных металлургических мини-предприятий;
- реструктуризация и модернизация предприятий с полным металлургическим циклом.

Анализ технологических, экономических и энергетических показателей современных металлургических мини-заводов представлен в работе [1]. Обосновано сокращение темпов строительства и ввода в эксплуатацию мини-заводов при использовании современных технических решений. При этом показано, что в Российской Федерации, Украине и мире в целом общее количество мини-заводов не соответ-

ствует публикуемым данным. Отмечено, что количество мини-заводов значительно (примерно на 30–40%) меньше. Наряду с традиционной схемой металлургического мини-предприятия (электросталеплавильное производство – внепечная обработка – разливка на МНЛЗ – прокатное производство) в последнее время рассматриваются схемы получения жидкой стали при использовании компактных доменных печей и альтернативных способов получения жидкого чугуна.

Анализ мирового производства стали показывает, что лидером по производству жидкой стали в мире является Китай, его доля в мировом производстве стали на 2017 г. составила около 50%. При этом следует отметить, что китайская металлургическая промышленность наращивает объемы в основном за счет конвертерного производства, т.е. введения в эксплуатацию предприятий с полным металлургическим циклом.

В связи с этим в настоящей статье представлены данные по развитию и реструктуризации металлургических предприятий с полным циклом, в первую очередь, в условиях черной металлургии стран СНГ и бывшего СССР. При этом основное внимание уделено рассмотрению оборудования и технологии производства стали.

До периода распада СССР на его территории, в первую очередь Центральной части Юга Украины, Центральной части Урала и Сибири функционировало 22 предприятия с полным металлургическим циклом (11 – в России, 1 – в Казахстане, 1 – в Грузии, 9 – в Украине). Как правило, все предприятия были оснащены современным на тот период времени металлургическим оборудованием и сопутствующими ему технологиями высшего технического уровня [2].

Приведены основные данные по металлургическим заводам с полным циклом производства, которые показывают огромный потенциал и колоссальную мощь, которым обладал СССР в борьбе за мировое лидерство в металлургической отрасли в период 1961–2000 гг. Здесь, безусловно, следует отметить уровень подготовки специалистов-металлургов, которые фактически создали последующую возможность двигаться вперед и создавать новые технологические процессы.

Приведены данные по активам (основному оборудованию) металлургических комбинатов и предприятий металлургического профиля бывшего СССР. Полагаем, что для специалистов, занимающихся вопросами организации металлургического производства, проектирования и компоновки металлургических заводов, эти данные будут представлять значительный интерес.

Криворожский металлургический комбинат «Криворожсталь»

Производство агломерата осуществлялось в шести агломашинах с производительностью 5,3 млн т в год (мировой рекорд).

Производство чугуна осуществлялось девятью доменными печами с возможностью производства порядка 14,8 млн т чугуна в год. При этом в общей производственной структуре завода функционировали два доменных цеха. В структуре второго доменного цеха функционировала лишь одна доменная печь полезным объемом 5000 м^3 (мировой рекорд по объему) с производством 4,0 млн т чугуна в год. Этот показатель в 70–80-е годы XX ст. не имел аналогов в мировой практике производства чугуна. В целом комбинат «Криворожсталь» являлся крупнейшим в мире производителем чугуна на отдельно взятом металлургическом предприятии.

Производство стали осуществлялось в четырех сталеплавильных цехах.

Мартеновский цех, в состав которого входили четыре мартеновские печи емкостью по всаду 650 т и производительностью в сумме порядка 2,0 млн т стали; два двухванных сталеплавильных агрегата производительностью по 1,3 млн т в год каждый.

Кислородно-конвертерный цех № 1, в состав которого входили четыре кислородных конвертера емкостью по 50 т. Суммарное количество выплавляемой стали составляло порядка 2 млн т стали в год.

Кислородно-конвертерный цех № 2, в состав которого входили шесть кислородных конвертеров емкостью по 130 т и общей производительностью около 6,6 млн т стали в год.

Электросталеплавильный цех включал четыре ДСП емкостью по 25 т, одну емкостью 6 т и одну емкостью 3 т.

Производство проката. В составе предприятия функционировало наибольшее количество блюмингов среди всех предприятий системы Министерства черной металлургии СССР и Министерства черной металлургии Украины: три блюминга (1150, 1250, 1300) суммарным годовым объемом производства 5 млн т проката (заготовки), непрерывно-заготовочные станы, перекатывающие заготовку для шести мелкосортных станов 250 общей производительностью около 2,5 млн т/год и штрипсовый стан производительностью 1,8 млн т/год штрипса.

Таким образом, очевидно, что Криворожский горно-металлургический комбинат «Криворожсталь» являлся крупнейшим в мире производителем чугуна (14,8 млн т/год) и стали (порядка 14 млн т/год).

Мариупольский металлургический комбинат «Азовсталь» (г. Мариуполь, Донецкая область)

Производство агломерата осуществлялось двумя агломашинами, суммарный объем производства которых составлял порядка 1,7–1,75 млн т/год аглошихты.

Производство чугуна. В составе предприятия функционировало шесть доменных печей объемом: № 1, 2 – по 1233 м^3, № 3–1719 м^3, № 4–1800 м^3, № 5–1513 м^3, № 6–1719 м^3, которые производили порядка 5,5–5,6 млн т чугуна в год.

Производство стали осуществлялось в двух сталеплавильных цехах.

Мартеновский цех, в состав которого входило 11 печей емкостным объемом по 400 т. Производство цеха составляло порядка 3,2 млн т стали в год.

Кислородно-конвертерный цех, в состав которого входили два конвертера емкостью по 350 т каждый. Общий объем производства стали составлял порядка 4,0 млн т/год. Помимо кислородных конвертеров, в состав цеха входили шесть печей ЭШП емкостью по 20 т каждая, три установки доводки стали (установки печь-ковш), одна электрическая печь для выплавки синтетического шлака, один вакууматор ВП-350. Было построено отделение жидких лигатур, в состав которого входили две ДСП емкостью 12 т и одна печь для выплавки синтетическго шлака.

В составе ККЦ функционировали три слябовые двухручьевые УНРС криволинейного типа. Общий объем производства ККЦ по стали составлял порядка 4 млн т стали в год и при этом порядка 3,0 млн т стали разливалось непрерывным способом.

Производство проката. В составе предприятия функционировал блюминг 1170 объемом производства 3,8 млн т проката, крупносортный стан 650 производительностью 1,1 млн т проката, рельсобалочный стан 800 производительностью 1,5 млн т проката, толстолистовой стан 3600 в схеме с ККЦ суммарным объемом производства около 2,0 млн т листового проката.

Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича (г. Мариуполь, Донецкая область)

Агломерационное производство. Авторами обнаружено, что металлургический комбинат им. Ильича являлся крупнейшим в мире производителем агломерата. Производство агломерата осуществлялось 12 агломашинами с площадью спекания по 85 м^2 и общегодовым объемом производства порядка 12,5 млн т агломерата в год.

Доменное производство. В составе предприятия функционировали пять доменных печей объемом: № 1, 2 – 1033 м^3 по 0,85 млн т чугуна в год, № 3 – 1719 м^3 производительностью 12 млн т чугуна в год, № 4 – 2002 м^3 производительностью 1,4 млн т чугуна в год, № 5 – 2300 м^3 производительностью1,6 млн т чугуна в год.

Сталеплавильное производство. В составе предприятия функционировали два сталеплавильных цеха: мартеновский и кислородно-конвертерный (ККЦ).

В состав мартеновского цеха входило шесть мартеновских печей: три печи емкостью по 650 т и три – емкостью по 900 т. Общий объем производства мартеновского цеха составлял порядка 4,0 млн т стали.

В ККЦ функционировали три кислородных конвертера емкостью по 160 т. Суммарный объем выпуска стали в ККЦ находился на уровне 3,0–3,2 млн т стали в год.

Производство проката. В состав предприятия входили прокатный стан слябинг 1150 производительностью 6,3 млн т в год, непрерывный широкополосной стан горячей прокатки производительностью 3,8 млн т листового проката в год, толстолистовой стан 4500 производительностью 0,2 млн т проката в год, толстолистовой стан 2540 производительностью 0,3 млн т проката в год, стан широкополосной холодной прокатки 1700 производительностью 1,4 млн т в год, трубное производство объемом 0,3 млн т труб в год.

Днепровский металлургический комбинат им. Ф. Э. Дзержинского («Дзержинка»), г. Каменское (г. Днепродзержинск до 2016 г.)

Производство чугуна осуществлялось в шести доменных печах с возможностью производства около 6,0 млн т чугуна в год.

Производство стали осуществлялось в двух цехах: мартеновском и кислородно-конвертерном.

В мартеновском цехе функционировали шесть печей емкостью по 440 т и две печи по 220 т с объемом производства 3,5 млн т стали в год (мартеновский цех закрыт в 1997 г.).

В составе ККЦ – два кислородных конвертера емкостью 250 т каждый и объемом выплавляемой стали порядка 3,5 млн т/год. В состав ККЦ входили две комбинированные УНРС, на которых отливали заготовки сечением 160×160 и 250×300 мм, а также две установки внепечной доводки стали в ковше.

Прокатное производство включало блюминг 1150 с годовым объемом производства 4,2 млн т и блюминг 950 производительностью около 1,1 млн т/год, четырехклетьевой рельсобалочный стан 900, осепрокатный стан 250, шаровой и периодический прокатный стан 120.

Суммарные производственные активы составили порядка 9,0 млн т агломерата, сталь и готовый прокат порядка 4,5 млн т/год.

В г. Каменское (г. Днепродзержинск) Днепропетровской области функционировали два крупных коксохимических завода: Баглейский и Днепропетровский с объемом производства 4,5 млн т кокса в год.

Запорожский металлургический комбинат «Запорожсталь»

Агломерационное производство. На комбинате функционировала одна аглофабрика, в состав которой входили шесть агломашин с площадью спекания агломерата 62,5 м^2. При этом объем производства агломерата достигал порядка 6 млн т аглошихты в год.

Доменное производство. В состав доменного цеха входили пять доменных печей: № 1 – с полезным объемом 960 м^3 производительностью порядка 0,5 млн т в год, № 2–5 – с полезным объемом 1513 м^3 и объемом производства 3,6 млн т в год.

Сталеплавильное производство. В состав мартеновского цеха входили шесть мартеновских печей емкостью по 500 т и две печи – по 250 т, а также два двухванных агрегата 2×250 с функционированием прямоточной схемы их отопления природным газом. Суммарный объем производства комбината по стали находился на уровне 4,1–4,2 млн т стали в год. На тот период времени функционировали два мартеновских цеха, к настоящему времени один цех закрыт.

Производство проката. На предприятии функционировали прокатные станы: слябинг 1100 производительностью 5,2 млн т проката в год, тонколистовой стан горячей прокатки 1600 производительностью 2,5 млн т листового проката в год, непрерывный стан 1680 холодной прокатки объемом производства около 1,0 млн т в год. В целом же суммарный годовой объем по готовому прокату (лист) составляет порядка 2,5 млн т в год.

Алчевский металлургический комбинат (Украина, Луганская область)

Производство чугуна осуществлялось в шести доменных печах, в том числе одна (ДП № 1) печь с рабочим объемом около 3000 м^3 с объемом производства порядка 5,5 млн т чугуна в год.

Производство стали осуществлялось в семи мартеновских печах (четыре емкостью по 300 т и три – по 600 т), одной двухванной печи 2×300 т и одной двухванной печи 2×250 т. Общая производительность составляла около 4,0 млн т/год.

Прокатное производство представлено блюмингом-слябингом 1250 с объемом проката 4,2 млн т/год, крупносортным станом 600 производительностью 1,7 млн т/год, среднелистовым станом (тандем) – 0,5 млн т/год, толстолистовым 2800 производительностью 1 млн т/год.

Суммарные производственные активы: агломерат – 5,0 млн т/год, чугун – 5,8, сталь – 4,5, готовый прокат 3,2 млн т/год.

Магнитогорский металлургический комбинат

Подготовка сырья включала 11 коксовых батарей с общей мощностью около 7,7 млн т/год.

Производство чугуна включало десять доменных печей с суммарным объемом около 11,8 млн т/год.

Производство стали осуществлялось в трех мартеновских цехах с суммарным объемом производства 16 млн т стали в год (две мартеновские печи емкостью 900 т, три – емкостью 280 т, пять двухванных печей емкостью 300 т) и кислородно-конвертерном цехе (два конвертера емкостью 350 т) с объемом выпуска стали 3,5 млн т/год.

Прокатное производство включало два блюминга 1150, слябинг 1150, непрерывнозаготовочные станы 720, 630 и 530, крупносортный стан 500, проволочный стан 250, мелкосортный стан 250, шесть листовых станов и др. объемом производства около 13,0 млн т.

Объем (активы) выпускаемой продукции: около 7,7 млн т кокса, около 11,8 млн т чугуна, 19,5 млн т выплавляемой стали и 13,0 млн т готового проката. Кроме того, добыча железной руды и переработка ее составляет 3,0 млн т/год.

Западно-Сибирский металлургический комбинат

Производство стали осуществлялось в трех конвертерах номинальной емкостью по 160 т годовым объемом производства 3,5 млн т, двух конвертерах емкостью по 300 т годовым объемом производства 3,4 млн т.

Производство проката осуществлялось на блюминге 1300 годовым объемом производства 6,5 млн т, прокатных станах 500, 450, 250х2 годовым объемом производства 3,4 млн т, проволочном стане 250 годовым объемом производства 1,0 млн т.

Объемы выпускаемой продукции: 6,9 млн т стали, 4,4 млн т готового проката.

Новокузнецкий металлургический комбинат
(до 2003 г. Кузнецкий металлургический комбинат)

Производство стали осуществлялось в 12 мартеновских печах емкостью по 450 т, двух мартеновских печах емкостью по 250 т суммарной годовой производительностью 4 млн т, двух электродуговых печах емкостью по 100 т (мощность трансформатора 63 МВА) и двух электродуговых печах емкостью по 40 т суммарной годовой производительностью 1,0 млн т.

Производство проката включало блюминг 1100 производительностью 4,5 млн т, заготовочные станы 900, 750 годовой производительностью 1,2 млн т, рельсобалочный стан 750 производительностью 1,4 млн т, прокатные станы 500, 450, 300, 250 годовой производительностью 1,5 млн т, листовой стан 2150 производительностью 0,5 млн т.

Объемы выпускаемой продукции: 5 млн т стали, 4,6 млн т готового проката.

Челябинский металлургический комбинат

Производство чугуна осуществлялось в пяти доменных печах с общегодовым объемом производства около 4,0 млн т чугуна.

Производство стали включало пять мартеновских печей номинальной емкостью по 215 т в мартеновском цехе № 1 (годовой объем производства 1,0 млн т/год), шесть мартеновских печей номинальной емкостью по 100 т в мартеновском цехе № 2 (годовой объем производства 1,5 млн т/год), три конвертера емкостью 160 т и объемом производства около 3,4 млн т/год в кислородно-конвертерном цехе; пять ДСП емкостью 40 т (мощность трансформатора 9 МВА) с годовым объемом производства 0,36 млн т в электросталеплавильном цехе № 1; шесть ДСП емкостью 80 т (мощность трансформатора 32 МВА) с годовым объемом производства 0,9 млн т в электросталеплавильном цехе № 2; печи малоемкостные от 2 до 10 т с годовым объемом производства 0,12 млн т в электросталеплавильном цехе № 3.

Производство проката осуществлялось на блюминге 1180 с годовым объемом около 2,0 млн т/год; блюминге 1300 в комплексе с непрерывнозаготовочным станом 900/700/550, отделочном заготовочном стане 800, крупносортном 780 и среднесортном 350, а также на четырех средне- и мелкосортных станах суммарным объемом производства порядка 0,9 млн т/год. В состав прокатного производства входили также четыре крупных стана 2300/1700, два реверсивных полосовых 1700 холодной прокатки и полосовой прокатно-дрессировочный 1700 холодной прокатки.

Объемы (активы) выпускаемой продукции составляли 2,2 млн т агломерата, около 3,0 млн т кокса, около 4,5 млн т чугуна, более 7,0 млн т выплавляемой стали и более 4,0 млн т готового проката.

НЛМК (Новолипецкий металлургический комбинат)

Производство чугуна включало шесть доменных печей с суммарным годовым объемом производства порядка 10,0 млн т.

Производство стали – три конвертера номинальной емкостью по 160 т и объемом производства 4,1 млн т/год в кислородно-конвертерном цехе (ККЦ) № 1; два конвертера номинальной емкостью по 300 т и объемом производства 5,4 млн т/год в ККЦ № 2; две дуговые печи (ДСП) номинальной емкостью 100 т и трансформаторами по 32 МВА, три ДСП (две емкостью 25 т и одна емкостью 6 т для производства стального литья) в электросталеплавильном цехе (ЭСПЦ); восемь установок для внепечной обработки (обработки стали в ковше, в том числе четыре с вдуванием порошкообразных материалов).

Производство заготовок – 13 машин непрерывной разливки стали (шесть двухручьевых слябовых УНРС для литья слябов сечением от 240×1070–1850 мм, объем литья 4,2 млн т/год; пять двухручьевых МНЛЗ криволинейного типа для литья слябов сечением 250–315×1200–2200 мм, объем литья 5,3 млн т/год; две двухручьевые вертикальные МНЛЗ для литья слябов сечением 150–170×820–1060 мм, объем литья – 0,3 млн т/год).

Производство проката – широкополосный стан 2000 и полосовой стан 1200, стан холодной прокатки непрерывный пятиклетьевой 1200; три 20-валковых стана 1200; непрерывный пятиклетьевой стан 2030 и непрерывный четырехвалковый стан 1400.

Суммарные активы НЛМК – производство порядка 13 млн т агломерата; около 5,0 млн т кокса; порядка 10,2 млн т чугуна; 8,0 млн т проката.

Нижнетагильский металлургический комбинат, г. Нижний Тагил

Производство чугуна осуществлялось в шести доменных печах суммарным производством чугуна более 6,5 млн т/год.

Производство стали включало девять печей с номинальной емкостью по 450 т и общим объемом производства 3,5 млн т/год в мартеновском цехе № 1**;** две печи номинальной емкостью по 300 т (одна – 280 т, четыре – по 160 т) общим объемом производства порядка 1,6 млн т/год в мартеновском цехе № 2; четыре конвертера емкостью 160 т и общим объемом производства порядка 3,2 млн т/год в кислородно-конвертерном цехе.

Производство заготовок осуществлялось на одной слябовой МНЛЗ объемом производства 350 тыс. т в год (сечение 200–250×1500–1800 мм).

Прокатное производство включало блюминг 1150–1 объемом производства проката 4,35 млн т/год; блюминг 1150–2 объемом производства проката 3,45 млн т/год; рельсобалочный стан 800 объемом производства проката 1,6 млн т/год; универсальный балочный стан 650 объемом производства проката 1,2 млн т/год; толстолистовой стан 3500 объемом производства проката 0,4 млн т/год; бандажный стан объемом производства проката 0,15 млн т/год; колесопрокатный стан объемом производства проката 0,23 млн т/год.

Суммарные активы НТМК составляли порядка 5,0 млн т сырой железной руды, чугуна – более 7,0, стали – более 8,0, проката – более 6,0 млн т.

Орско-Халиловский металлургический комбинат (г. Новотроицк, Оренбургская область)

Производство чугуна осуществлялось в четырех доменных печах с суммарным годовым объемом выпуска (производства) около 3,2 млн т.

Производство стали осуществлялось в пяти мартеновских печах емкостью 400 т и двух двухванных печах емкостью по 260 т с общегодовым объемом выпуска стали порядка 2,5 млн т в мартеновском цехе; двух ДСП с мощностью трансформатора 75 МВА, одной ДСП для стального литья внутризаводских нужд в электросталеплавильном цехе; установке вакуумирования объемом производства 300 тыс. т/год и двух установках внепечной обработки (доводки) металла.

В состав электросталеплавильного цеха входили четыре четырехручьевые МНЛЗ для литья сортовых заготовок сечением 300×450 и 300×345 мм соответственно.

Прокатное производство включало блюминг 1250, производительность которого составляла порядка 4,0 млн т/год и три крупных стана: крупносортный 950/800 (производительность 1,5 млн т/год), толстолистовой 2800 (производительность 1,3 млн т/год) и универсальный стан 800 (производительность порядка 0,8 млн.т/год.).

Суммарные производственные активы: агломерата – 3,3 млн т/год, кокс – около 2,0, чугун – 3,4, сталь – около 5,0, готовый прокат – 3,42 млн т/год.

Череповецкий металлургический комбинат («Северсталь»)

Производство чугуна осуществлялось в пяти доменных печах (одна печь являлась крупнейшей в Европе с полезным объемом 5500 м^3) с общим объемом производства чугуна около 10,0 млн т/год.

Производство стали осуществляли в восьми мартеновских печах по 600 т, одной печи емкостью 250 т, двух двухванных печах (2×300 т и 2×250 т) с объемом выпуска около 5,8 млн т/год в мартеновском цехе; трех конвертерах емкостью по 350 т с объемом выпуска стали около 7,0 млн т/год в кислородно-конвертерном цехе; четырех ДСП с номинальной емкостью 100 т в электросталеплавильном цехе. Также функ-

ционировали одна установка вакуумирования и рафинирования и три установки внепечной доводки стали.

Производство заготовок осуществлялось на пяти слябовых двухручьевых УНРС криволинейного типа для отливки сечением 250×1100–1300 мм с технической возможностью отливки до 7,5 млн т/год в кислородно-конвертерном цехе; двух слябовых двухручьевых вертикальных МНЛЗ для отливки сечением 175–200, 1070–1270 мм в электросталеплавильном цехе.

Прокатное производство включало блюминг 1300 с объемом проката до 6,5 млн т/год, тонколистовой стан 2800/1700 объемом производства стального литья 2,6 млн т/год, тонколистовой стан 2000, четырехклетьевой стан холодной прокатки 1700 объемом производства 1,1 млн т/год.

Суммарные производственные активы: агломерат – 10,0 млн т/год, кокс – 5,5, чугун – 10,0, сталь – 14,0, готовый прокат – 12,0 млн т/год.

Всего на территории Российской Федерации функционировало 15 блюмингов и 3 слябинга, в том числе 1 – на Западно-Сибирском металлургическом комбинате, 1 – Новокузнецком металлургическом комбинате, 3 – Магнитогорском металлургическом комбинате (2 блюминга, 1 слябинг), 2 – Нижнетагильском металлургическом комбинате, 2 – Новолипецком металлургическом комбинате, 1 – Орско-Халиловском металлургическом комбинате, 2 – Челябинском металлургическом комбинате, 1 – Череповецком металлургическом заводе, 1 – Волгоградском металлургическом заводе, 1 – Златоустовском металлургическом заводе. На Украине функционировало 12 блюмингов и 8 листовых станов (слябингов), в том числе 1 – на Алчевском металлургическом комбинате, 2 – Днепровском металлургическом комбинате («Дзержинка»), 1 – металлургическом комбинате им. Петровского, 1 – Енакиевском металлургическом комбинате, 1 блюминг и 4 крупных листовых – на комбинате «Запорожсталь», 4 блюминга – комбинате «Криворожсталь», 1 – Макеевском металлургическом заводе, 1 блюминг и 1 толстолистовой – на комбинате «Азовсталь», 1 блюминг и 3 толстолистовых – на комбинате им. Ильича. На Руставском металлургическом заводе функционировал 1 блюминг, на комбинате в г. Темиртау – 1 слябинг.

Следует отметить, что с нарушением внутригосударственных экономических связей многие высокоэффективные и высокопроизводительные металлургические предприятия вынуждены были сократить объемы производства, в отдельных случаях реструктуризироваться таким образом, чтобы в первую очередь производить экспортно-ориентированную продукцию и в некоторой степени обеспечивать потребности внутреннего рынка.

Среди ряда важнейших факторов, способствующих созданию высокоэффективных металлургических технологий, считаем целесообразным отметить подготовку производственных и технических кадров для отрасли.

В частности, в черной металлургии бывшего СССР ежегодно переоснащались производственные мощности основных цехов. И это, безусловно, способствовало повышению требований к руководящим и рабочим кадрам отрасли. Здесь нельзя не отметить объективную реальность, что именно в СССР подготовка высококвалифицированных инженерных и рабочих кадров составляла наиважнейшую государственную задачу.

Именно в годы первых пятилеток были созданы известные теперь во всем мире высшие учебные заведения: в 1930 г. на базе Московской горной академии был создан Московский институт стали и сплавов, созданы Днепропетровский (г. Днепропетровск), Сибирский (г. Новокузнецк) металлургические институты, Магнитогорский горно-металлургический институт, а в ряде ведущих технических вузов страны (в Донецке, Свердловске, Тбилиси и др.) были организованы металлургические факультеты. И далее семимильными шагами расширялись действующие и создавались новые высшие и средние специальные учебные заведения в областных центрах (Донецк, Челябинск, Липецк, Запорожье), а также в известных во всем мире металлургических городах: Днепродзержинске, Кривом Роге, Темиртау (Казахстан), Мариуполе, Череповце и др. Количество институтов к началу семидесятых годов достигло невероятной цифры: подготовку кадров для отрасли осуществляли более 150 высших, средних специальных и средних технических учебных заведений. Ежегодно ряды инженерно-технических кадров отрасли пополняли более 15 тыс. специалистов с высшим и средним специальным образованием. И если перенести эту цифру на развитие отрасли, то это соответствовало численному составу практически крупного металлургического предприятия с полным циклом товарного производства. Небесспорными были и подготовка инженерно-технических кадров по заочной форме обучения и вопрос – нужна ли она была вообще? Но все-таки здесь было больше «плюсов», чем «минусов». Ведь многие (известные в будущем) руководители отрасли, крупные инженерно-технические руководители видели и воспринимали получение высшего

образования как возможность дальнейшего совершенствования знаний, которое будет способствовать технически грамотному решению по созданию передовых проектов, включающих в себя расчеты, основанные, прежде всего, на базовых знаниях горно-металлургической науки, созданной и создаваемой великими умами, отцами отрасли, их последователями и учениками. Здесь появлялась возможность в кратчайшие периоды времени, используя накопленный на производстве и в вузе багаж знаний, с помощью квалифицированного расчета и технически грамотно поставленного эксперимента для конкретного случая (например, в доменном, сталеплавильном или прокатном переделе) усовершенствовать сам технологический процесс, а иногда создать и внедрить новую конструкцию и технологию, позволившую сэкономить материалы и топливно-энергетические ресурсы.

И действительно, в 70–80-е годы в черной металлургии был настоящий бум в области рационализаторской и изобретательской деятельности. Чем еще можно объяснить ежегодные 40–50 тыс. подаваемых и внедряемых рационализаторских предложений и порядка 7–8 тыс. заявок на предполагаемые изобретения? Но самое главное состояло именно в том, что руководство отраслью полностью (на все 100%) поддерживало инициативу изобретателей и рационализаторов всех уровней: от рабочего до руководителя участка, цеха, отдела. Именно в этот период времени отечественная черная металлургия достигла невиданного ранее в мире подъема производственных мощностей и объемов выпуска чугуна и стали, прежде всего благодаря образованным, инициативным и преданным делу рабочим и инженерным кадрам. И в этом преимущество фактического и грамотно выверенного, а не фиктивного государственного управления с придуманными цифрами, формирующимися слабо квалифицированными кадрами, по сравнению с неэффективной системой частного (капиталистического) управления, которое наблюдается в сегодняшних условиях функционирования черной металлургии в странах СНГ и ряде стран мира.

Таким образом, приведенные выше цифры убедительно свидетельствуют об имеющемся на период распада СССР колоссальном активе в виде промышленных гигантов, предприятий и цехов в такой важнейшей сфере промышленности, какой является черная металлургия.

К 1985 г. по производству стали СССР занимал лидирующее место, достигнув объема выпуска стали на уровне 165 млн т в год, опередив США (120 млн т) и Японию (около 100 млн т).

Следует также отметить, что практически реструктуризации, существенной модернизации или реконструкции перечисленные в работе предприятия до 2005 г. не подвергались.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Тимошпольский В. И., Трусова И. А.** Технологическая и экономическая эффективность современных металлургических мини-заводов и комплексов // Сталь. 2014. № 7. С. 99–105.

2. **Предприятия** и организации черной металлургии. М.: Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований, 1992.

REFERENCES

1. **Timoshpol'skij V. I., Trusova I. A.** Tehnologicheskaja i jekonomicheskaja jeffektivnost' sovremennyh metallurgicheskih mini-zavodov i kompleksov [Technological and economic efficiency of modern metallurgical mini-factories and complexes]. *Stal' = Steel,* 2014, no.7, pp. 99–105.

2. **Predprijatija** i organizacii chernoj metallurgii [Enterprises and organizations of ferrous metallurgy]. Moscow, Central'nyj nauchno-issledovatel'skij institut informacii i tehniko-jekonomicheskih issledovanij Publ., 1992.

МЕТАЛЛУРГИЯ

УДК 669.21

Поступила 18.05.2018

УСТРОЙСТВО ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРОВОЛОКИ РМЛ

М. А. КУХАРЕНКО, И. Н. РАДЬКОВА, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: nml.plus@bmz.gomel.by

В настоящее время различные производители при изготовлении проволоки РМЛ применяют правильно-рихтовальное устройство (ПРУ) для получения стабильных механических и пластических свойств проволоки. Вопрос по обеспечению необходимых параметров механических и пластических свойств проволоки РМЛ является актуальным для ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК». В связи с этим была разработана собственная конструкция ПРУ. Правильно-рихтовальное устройство позволило одновременно решить несколько задач: повысить пластические характеристики проволоки, улучшить регулировку подъема витка и стабилизировать диаметр кольца проволоки РМЛ при работе на станах.

Ключевые слова. *Правильно-рихтовальное устройство, проволока РМЛ, пластические свойства, тонкое волочение, диаметр.*

Для цитирования. *Кухаренко М. А. Устройство для улучшения пластических свойств проволоки РМЛ / М. А. Кухаренко, И. Н. Радькова // Литье и металлургия. 2018. Т. 91. № 2. С. 73–74.*

DEVICE FOR IMPROVING THE PLASTIC PROPERTIES OF THE WIRE RML

M. A. KUKHARENKO, I. N. RADKOVA, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin City, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: nml.plus@bmz.gomel.by

Currently, various manufacturers in the manufacture of wire RML used planish-straightening device (PSD), to obtain stable mechanical and plastic properties of the wire. The ensuring of the necessary parameters of mechanical and plastic properties of the RML wire is actual for OJSC «BSW» – Belarusian Metallurgical Works – Management Company of the Holding «BMC». That is why its own design of PSD was developed at BSW. The new planish-straightening device allowed to solve several problems simultaneously: to increase the plastic characteristics of the wire, to improve the adjustment of the coil lifting and to stabilize the diameter of the wire ring PML when working on the mills.

Keywords. *Planish-straightening device, wire RML, plastic properties, fine drawing, the diameter.*

For citation. *Kukharenko M. A., Radkova I. N. Device for improving the plastic properties of the wire RML. Foundry production and metallurgy, 2018, vol. 91, no. 2, pp. 73–74.*

Одной из основных продукций метизного производства ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» является проволока для рукавов высокого давления (РМЛ). Развитие проволочного производства постоянно направлено на улучшение качества выпускаемой продукции. Согласно литературным данным, для обеспечения пластическими свойствами проволоки РМЛ предлагается перед намоткой проволоки на катушку использовать различные устройства.

Целью данной работы является оценка возможности улучшения пластических характеристик проволоки РМЛ диаметром более 0,50 мм путем использования правильно-рихтовального устройства.

В настоящее время на участках тонкого волочения метизного производства БМЗ для настройки необходимой прямолинейности проволоки РМЛ в волочильных станах перед намоткой на катушку устанавливают рихтовальные устройства, однако этого в ряде случаев бывает недостаточно, поэтому было принято решение разработать собственную конструкцию ПРУ для применения на станах тонкого волочения при изготовлении проволоки РМЛ диаметром более 0,50 мм (макс. 0,71 мм). Разработанное устройство показано на рисунке.

Изготовленное правильно-рихтовальное устройство состоит из трех основных узлов. Каждый узел выполняет свою функцию: узел № 1 предназначен для частичного снятия и перераспределения напряжений в проволоке; № 2 – рихтовальное устройство служит для формирования кольца проволоки; № 3

Правильно-рихтовальное устройство (ПРУ)

предназначен для создания, стабилизации кольца и корректировки высоты подъема конца проволоки. Для подтверждения работоспособности опытного устройства определяли его влияние на пластические свойства проволоки.

Испытание правильно-рихтовального устройства проводили при изготовлении готовой продукции в промышленных условиях. Согласно требованиям одного из потребителей, регламентируется скручивание после старения.

В таблице приведены сравнительные данные пластических характеристик проволоки РМЛ диаметром 0,56 мм, полученной с применением и без применения правильно-рихтовального устройства.

Таблица

Вариант волочения проволоки	Показатель	Разрывное усилие, Н	Временное сопротивление разрыву, Н/мм^2	Отношение предела текучести к временному сопротивлению разрыва, %	Относительное удлинение при разрыве,%	Скручивание (после старения)	Реверсивные скручивания
С применением правильно-рихтовального устройства (опытный)	Среднее	643,81	2643	89,18	2,72	41	67
	Минимальное	639,1	2606	86,40	2,49	32	39
	Максимальное	659,71	2698	89,71	3,01	50	87
Без деформационной обработки (контрольный)	Среднее	653,66	2664	88,48	2,61	31	59
	Минимальное	653,07	2661	86,36	2,38	8	38
	Максимальное	678	2740	91,61	2,91	45	84
Требования		603–676	2450–2750		не менее 2,0	не менее 29	не менее 30

Из таблицы видно, что проволока, изготовленная с применением ПРУ, имеет высокие значения реверсивных скручиваний и скручиваний после старения по сравнению с проволокой, изготовленной без ПРУ. Доля брака по скручиванию после старения проволоки, полученной без ПРУ, составляла 14% (7 выпадов), что является не выполнением требований потребителя. Результаты испытаний по количеству скручиваний после старения проволоки, изготовленной с применением правильно-рихтовального устройства, соответствовали требованиям спецификации фирмы.

Выводы

Применение правильно-рихтовального устройства позволило повысить пластические характеристики проволоки РМЛ. Внедрение данного устройства даст возможноять выполнить требования заказчика по пластическим характеристикам проволоки РМЛ, а также уменьшить количество задержанной продукции по данным параметрам.

МЕТАЛЛУРГИЯ

УДК 669

Поступила 18.05.2018

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОЛИРОВКИ РАБОЧЕГО КАНАЛА ВОЛОЧИЛЬНОГО ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРОИЗВОДСТВА ОАО «БМЗ – УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БМК»

Т. П. КУРЕНКОВА, И. В. БОРИСОВЕЦ, И. П. ЛАЗЕБНИКОВА, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: nlt.plus@bmz.gomel.by

Качество волочильного инструмента напрямую зависит от качества обработки канала. Обработка канала проводится с целью получения требуемой геометрической формы, требуемых размеров и предельных отклонений в соответствии с размером и качеством протягиваемой проволоки, а также для получения требуемой чистоты поверхности канала волоки. Определение шероховатости поверхности в канале волоки не представляется возможным из-за конструкции волоки, поэтому контроль качества полировки канала проводится визуальным методом с помощью стереоскопического микроскопа.

В лабораториях ЦЗЛ ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» выполнена работа по определению параметра шероховатости в канале волоки методом разрушающего контроля. Полученные результаты свидетельствуют о том, что визуальный метод контроля качества полировки рабочего канала твердосплавного волочильного инструмента с помощью стереоскопического микроскопа обеспечивает достаточную точность оценки качества шероховатости поверхности рабочего канала при контроле волок, предназначенных для грубо-среднего и тонкого волочения.

Ключевые слова. *Поверхность, шероховатость, микрорельеф, качество полировки, волока, канал, визуальный контроль.*

Для цитирования. *Куренкова Т. П. Определение качества полировки рабочего канала волочильного твердосплавного инструмента производства ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» / Т. П. Куренкова, И. В. Борисовец, И. П. Лазебникова // Литье и металлургия. 2018. Т. 91. № 2. С. 75–81.*

DETERMINATION OF THE POLISHING QUALITY IN THE WORKING CHANNEL OF THE DRAWING OF CARBIDE TOOLS PRODUCED BY OJSC «BSW – MANAGEMENT COMPANY OF HOLDING «BMC»

T. P. KURENKOVA, I. V. BORISOVETS, I. P. LAZEBNIKOVA, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin City, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: nlt.plus@bmz.gomel.by

The quality of the drawing tool depends on the quality of the channel. Channel processing is carried out in order to obtain the desired geometric shape, required size and limit deviations in accordance with the size and quality of the wire stretched, as well as to obtain the required purity of the surface of the channel drawing. The determination of the surface roughness in the die channel is not possible due to the design of the die, so the quality control of the channel polishing is carried out by a visual method using a stereoscopic microscope.

In the laboratories at the Central laboratory of OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC» the experience was undertaken for the determination of the roughness parameter in the channel of the dies by the method of destructive testing. The results obtained show that the visual method of quality control of the working channel polishing of the carbide drawing tool with the help of a stereoscopic microscope provides sufficient accuracy of assessing the quality of the roughness of the surface of the working channel when monitoring the draw die intended for coarse-medium and thin drawing.

Keyword. *Surface, roughness, microrelief, polishing quality, draw die, channel, visual inspection.*

For citation. *Kurenkova T. P., Borisovets I. V., Lazebnikova I. P. Determination of the polishing quality in the working channel of the drawing of carbide tools produced by OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC». Foundry production and metallurgy, 2018, vol. 91, no. 2, pp. 75–81.*

Волочение является одним из наиболее распространенных видов обработки металлов давлением и используется для уменьшения поперечного сечения металла с помощью волочильного инструмента (волоки). Волочению подвергают различные по составу металлы и сплавы: технически чистое железо,

стали от низко- до высокоуглеродистых, высоколегированные стали, цветные металлы и разнообразные сплавы.

Волока представляет собой инструмент с воронкообразным отверстием (каналом) определенной формы, через которое протягивается обрабатываемый материал (проволока).

Для изготовления волок применяются твердые сплавы. Качество волок во многом определяет экономические показатели процесса волочения и свойства получаемой проволоки. Применение высоких скоростей волочения нецелесообразно, если не обеспечена высокая стойкость волок.

В процессе волочения проволоки волока испытывает значительные нагрузки, так как в ее канале под действием силы волочения и сопротивления стенок происходит пластическая деформация металла. Кроме того, часть профиля волоки, соприкасающаяся с протягиваемым металлом, подвергается износу вследствие действия значительных сил трения. Поэтому основными показателями качества волочильного инструмента, вытекающими из условий эксплуатации, являются стойкость волоки от истирания и раскола.

Эксплуатационная стойкость волок оценивается количеством протянутого металла до выхода инструмента из строя, а стойкость волок до износа – количеством продукции на единицу износа канала, например, на микрон износа. Высокая стойкость волок и снижение величины силы волочения достигаются применением для изготовления волок специальных материалов, установлением оптимальной формы и качественной отделкой канала волок, а также использованием соответствующей волочильной смазки.

Большое влияние на эксплуатацию волок оказывает качество обработки их канала. Рабочая зона – это наиболее ответственная часть канала волоки. От чистоты поверхности этой части канала зависят силы внешнего трения, возникающие в контактной части рабочей зоны волоки, т. е. на границе поверхностей протягиваемого металла и конуса рабочей зоны. Чем меньше гребешки микронеровностей поверхности рабочей зоны, тем выше эффективность работы слоя смазки, подаваемой в зону деформации, и меньше вероятность схватывания поверхности волоки с протягиваемым металлом. Качественное шлифование и полирование рабочего канала волок уменьшают силу волочения и повышают износостойкость. Установлено, что стойкость волок возрастает в несколько раз, если канал волоки подвергнуть полированию. Особенно высокая стойкость достигается после полирования канала волоки алмазной пудрой [1].

Многочисленные исследования в области волочения показывают, что для получения качественной металлопродукции необходимо использовать не имеющий дефектов и хорошо отполированный волочильный инструмент. Это подтверждается различными литературными источниками, где указано, что канал волоки должен иметь зеркальную поверхность [2, 3, 7], чистота поверхности должна соответствовать наивысшим классам шероховатости по ГОСТ 2789-59 (∇11–∇12 [2], R_a = 0,04–0,08 мкм [4]).

Классы шероховатости (ГОСТ 2789-59 «Шероховатость поверхности, параметры, характеристики и обозначение») и соответствующие им значения параметров шероховатости (ГОСТ 2789-73 «Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики») приведены в табл. 1.

Таблица 1. **Классы и параметры шероховатости**

Класс шероховатости	Разряд	Параметр шероховатости R_a, мкм	Класс шероховатости	Разряд	Параметр шероховатости R_a, мкм
7	*а*	1,25–1,00	10	*а*	0,160–0,125
	б	1,00–0,80		*б*	0,125–0,100
	в	0,80–0,63		*в*	0,100–0,080
8	*а*	0,63–0,50	11	*а*	0,080–0,063
	б	0,50–0,40		*б*	0,063–0,050
	в	0,40–0,32		*в*	0,050–0,040
9	*а*	0,32–0,25	12	*а*	0,040–0,032
	б	0,25–0,20		*б*	0,032–0,025
	в	0,20–0,16		*в*	0,025–0,020

Среднее арифметическое отклонение профиля R_a представляет собой среднее значение расстояний (ординат) точек (y_1, y_2, y_3, ..., y_n) измеренного профиля до средней линии в пределах базовой длины l (рис. 1):

$$R_a = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|y_i|.$$

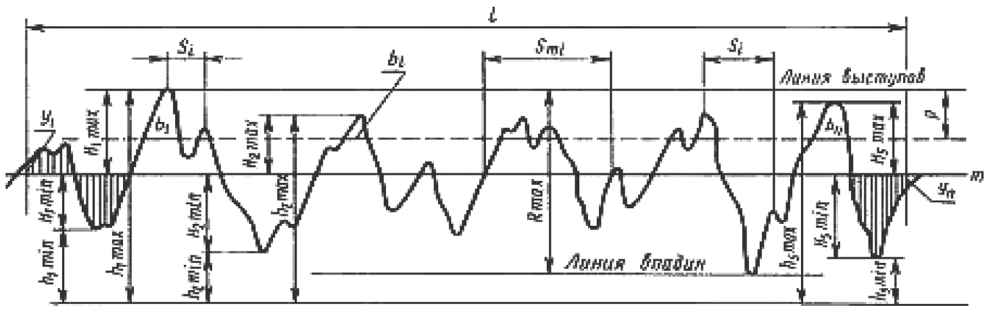


Рис. 1. Профилограмма поверхности, ГОСТ 2789

Качество подготовки рабочего канала волоки на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» проверяется визуально с помощью стереоскопических микроскопов на отсутствие царапин, раковин, трещин, продольных и поперечных рисок, полос на рабочем конусе и калибрующем пояске, а также на качество полировки поверхности. Визуальная оценка качества полировки обусловлена тем, что измерить шероховатость R_a в канале твердосплавной волоки не представляется возможной из-за конструкции волоки.

В металлографической лаборатории производства металлокорда № 2 Центральной заводской лаборатории ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» проведена работа по оценке качества обработки поверхности рабочего канала волок с определением параметра шероховатости. Цель работы – подтверждение того, что визуальный метод контроля качества полировки канала волок с помощью стереоскопического микроскопа при увеличении от 13 до 80 крат обеспечивает достаточную точность оценки качества шероховатости поверхности канала при исследовании волок с диаметром выходного отверстия от 0,175 до 6,0 мм. Работа проведена в четыре этапа:

1) изготовление образцов каналов волок, предназначенных для грубо-среднего волочения (ГСВ), пригодных для измерения шероховатости на профилографе-профилометре;

2) выявление характеристик поверхности, образующих микрорельеф и определяющих параметр шероховатости поверхности каналов волок, предназначенных для ГСВ с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ);

3) выявление характеристик поверхности, образующих микрорельеф и определяющих параметр шероховатости поверхности каналов волок, предназначенных для тонкого волочения (ТВ) с помощью РЭМ;

4) сравнение определяющих характеристик шероховатости поверхности канала, образующих микрорельеф, образцов волок, предназначенных для ТВ с образцами волок, предназначенных для ГСВ.

Для проведения *первого этапа* работы были отобраны волоки ГСВ с диаметром выходного отверстия 5 мм, имеющие разную степень шероховатости. Оценку качества полировки проводили визуально с помощью стереоскопического микроскопа на изготовленных волоках. Качество полировки при визуальном контроле оценивали как удовлетворительное и неудовлетворительное. Далее твердосплавные волоки-заготовки выпрессовывали из оправ и сошлифовывали на плоскошлифовальном станке таким образом, чтобы поверхность каналов волок-заготовок стала доступной для измерения шероховатости на профилографе-профилометре «HOMMEL TESTER T2000».

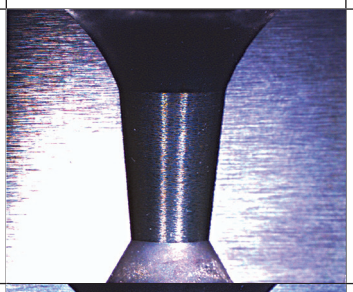
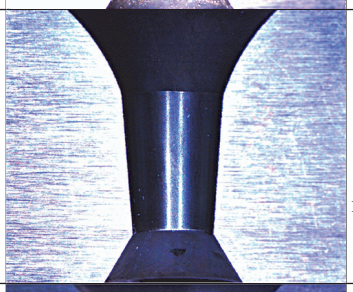
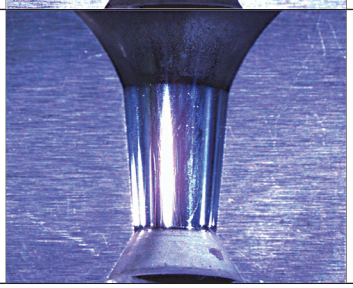
Необходимо отметить, что измерение шероховатости поверхности каналов волок ГСВ с помощью профилографа-профилометра является разрушающим методом оценки, что неприемлемо в производственных условиях.

Результаты визуальной оценки качества полировки канала волок ГСВ и измеренного параметра шероховатости поверхности канала образцов волок-заготовок приведены в табл. 2.

В процессе *второго этапа* работы поверхность канала образцов волок-заготовок ГСВ исследовали на РЭМ с целью выявления характеристик поверхности, образующих микрорельеф и определяющих параметр шероховатости. Исследование проводили при увеличении 2000 крат. Фотоснимки поверхности канала образцов волок-заготовок, предназначенных для ГСВ, полученные с помощью стереоскопического микроскопа и с помощью РЭМ, приведены в табл. 3.

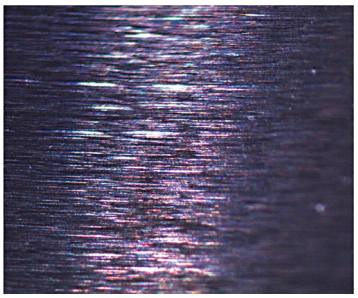
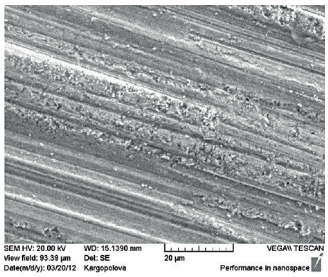
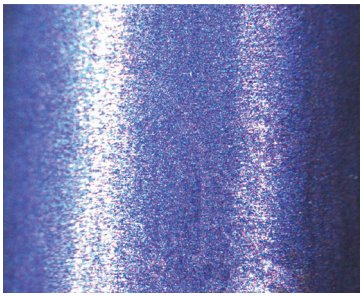
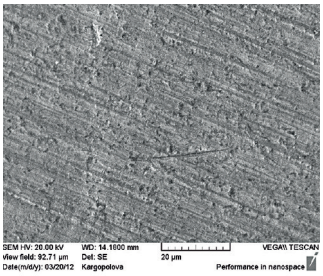
Из таблицы видно, что на поверхности канала образца № 1 присутствуют грубые множественные риски в виде «борозд», которые имеют достаточно большую глубину и ширину. На поверхности канала образца № 2 имеются множественные грубые риски и поры, на поверхности канала образца № 3 – неровности в виде незначительных микропор.

Таблица 2. **Параметры шероховатости поверхности канала образцов волок-заготовок, предназначенных для ГСВ**

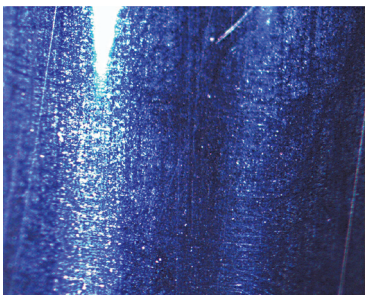
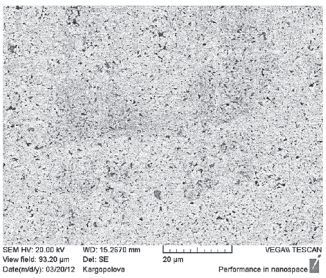
Номер образца	Операция изготовления рабочего канала волоки	Значение шероховатости R_a, мкм	Класс шероховатости ∇	Вид канала сошлифованной волоки-заготовки	Визуальная оценка качества полировки канала волок с помощью стереомикроскопа
		ГОСТ 2789-59		фотоснимки поверхностей получены с помощью стереоскопического микроскопа «Stemi 2000C», ×6,5	
1	Шлифовка канала иглой с алмазным напылением	1,00	7		**Неудовлетворительно:** канал волоки имеет темную матовую поверхность. На поверхности определяются множественные грубые риски и значительная шероховатость
2	Шлифовка канала иглой с алмазным напылением; полировка канала суспензией на основе порошка АСН 7/3	0,11	10		**Неудовлетворительно:** канал волоки имеет матовую поверхность. На поверхности определяются риски и незначительная степень шероховатости
3	Шлифовка канала иглой с алмазным напылением; полировка канала суспензией на основе порошка АСН 7/3; полировка канала на основе суспензии порошка АСН 5/2	0,03	12		**Удовлетворительно:** поверхность канала имеет зеркальный блеск

Примечание: образцы № 1,2 были специально изготовлены для проведения данной работы для измерения различных степеней шероховатости и определения характеристик поверхности, образующих микрорельеф.

Таблица 3. **Поверхность канала образцов волок-заготовок, предназначенных для ГСВ**

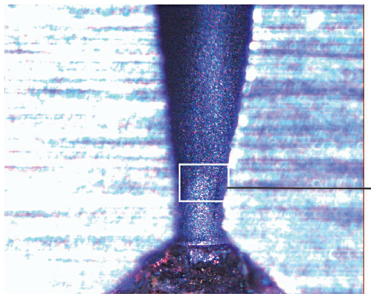
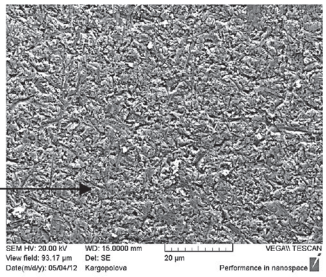
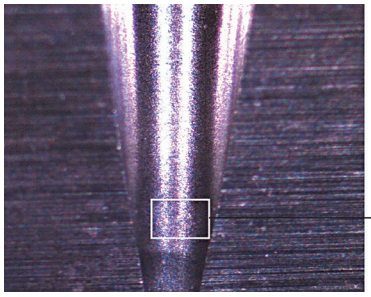
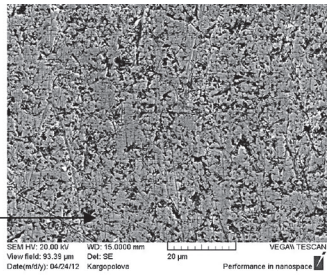
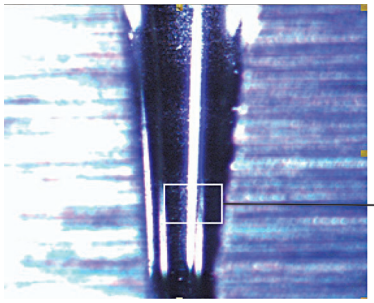
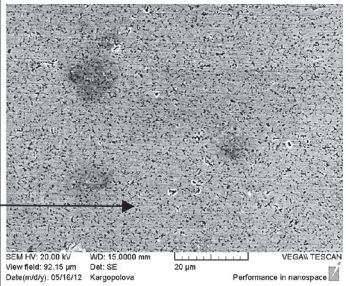
Фотоснимки, полученные с помощью стереоскопического микроскопа, ×50	Фотоснимки, полученные с помощью РЭМ, ×2000
	
Вид поверхности канала волоки-заготовки, образец № 1, шероховатость R_a = 1 мкм; ∇7	
	
Вид поверхности канала волоки-заготовки, образец № 2, шероховатость R_a = 0,11 мкм; ∇10	

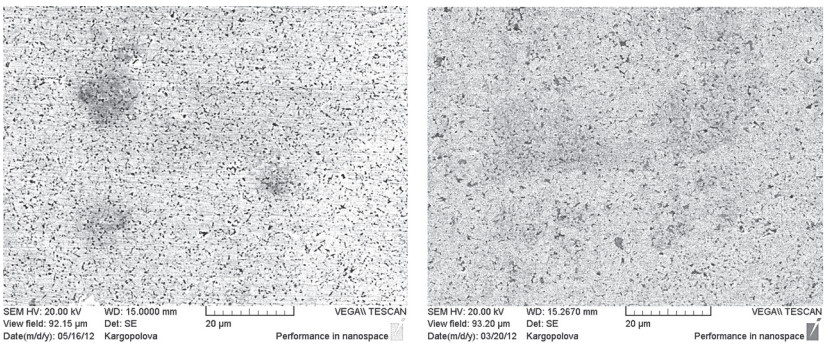
Окончание табл. 3

Фотоснимки, полученные с помощью стереоскопического микроскопа, ×50	Фотоснимки, полученные с помощью РЭМ, ×2000
	
Вид поверхности канала волоки-заготовки, образец № 3, шероховатость R_a = 0,03 мкм; ∇12	

Для проведения *третьего этапа* работы во время визуального контроля качества полировки канала волок, используемых для ТВ (с диаметром выходного отверстия 0,250 мм), были специально отобраны волоки с удовлетворительным и неудовлетворительным качеством полировки. Твердосплавные волоки-заготовки были выпрессованы из оправ и сошлифованы на плоскошлифовальном станке таким образом, чтобы поверхность канала волок-заготовок стала доступной для исследования с помощью РЭМ (при увеличении 2000 крат). Необходимость проведения данного этапа работы связана с невозможностью инструментального измерения шероховатости поверхности канала волок малого диаметра. Фотоснимки поверхности канала образцов волок-заготовок, предназначенных для ТВ, полученные с помощью стереоскопического микроскопа и с помощью РЭМ, приведены в табл. 4.

Таблица 4. **Поверхность канала образцов волок-заготовок, предназначенных для ТВ**

Фотоснимки, полученные с помощью стереоскопического микроскопа, ×50	Фотоснимки, полученные с помощью РЭМ, ×2000	Визуальная оценка качества полировки канала волок с помощью стереомикроскопа
		**Неудовлетворительно:** канал волоки имеет темную матовую поверхность – на поверхности определяется значительная шероховатость
Поверхность канала волоки-заготовки, образец № 1		
		**Неудовлетворительно:** канал волоки имеет матовую поверхность – на поверхности определяется шероховатость
Поверхность канала волоки-заготовки, образец № 2		
		**Удовлетворительно:** поверхность канала имеет зеркальный блеск
Поверхность канала волоки-заготовки, образец № 3		



а *б*

Рис. 2. Поверхность канала образцов волок-заготовок (фотоснимки получены с помощью РЭМ, ×2000): *а* – образец № 3 ТВ, *б* – образец № 3 ГСВ

Из таблицы видно, что поверхность канала образца № 1 с неудовлетворительной оценкой качества полировки при визуальном контроле имеет грубую шероховатость, которая определяется высокой степенью неровностей. Поверхность канала образца № 2 с неудовлетворительной оценкой качества полировки при визуальном контроле имеет шероховатость, которая определяется наличием множественных пор, с большой глубиной и частотой распределения по поверхности. Поверхность канала образца № 3 с удовлетворительной оценкой качества полировки при визуальном контроле имеет неровности в виде незначительных микропор.

На четвертом, заключительном, этапе работы проводили сравнение характеристик поверхности, образующих микрорельеф канала образцов волок-заготовок, используемых для ТВ и ГСВ с удовлетворительной визуальной оценкой качества полировки канала (рис. 2).

Сравнение (рис. 2, *а*, *б*) показывает, что поверхность канала исследуемых образцов волок-заготовок имеет неровности в виде незначительных микропор, количество которых несущественно отличается. Это объясняется разным составом и микроструктурой твердого сплава исследуемых образцов. Образец № 3 ТВ имеет мелкий размер зерна α-фазы (WC – карбид вольфрама), количество кобальта в данном твердом сплаве составляет 3%. Образец № 3 ГСВ имеет средне-крупный размер зерна α-фазы, количество кобальта в данном твердом сплаве составляет 6%. Кобальтовая составляющая твердого сплава имеет более низкую твердость в сравнении с α-фазой, поэтому в процессе изготовления волок при обработке поверхности канала она частично удаляется, образуя микропоры.

Таким образом, канал волоки при удовлетворительном качестве полировки при визуальном контроле с помощью стереоскопического микроскопа имеет зеркальный блеск поверхности, при неудовлетворительном качестве полировки поверхность канала имеет значительные неровности.

Шероховатость поверхности с наличием микропор составляет R_a = 0,03 мкм, что соответствует классу ∇12.

Обсуждение результатов

По рекомендациям различных литературных источников шероховатость обработанной поверхности канала волочильного инструмента должна составлять:

- чистота поверхности рабочей зоны должна быть не ниже класса ∇11–∇12 [2];
- шероховатость поверхности R_a должна быть равной 0,04–0,08 мкм [4];
- шероховатость поверхности инструмента для обработки металлов давлением должна соответствовать классам ∇9–∇11 [5];
- рабочий канал должен иметь зеркальную поверхность [2, 3, 7].

Таким образом, разные авторы предъявляют различные требования к чистоте обработки поверхности канала волочильного инструмента. Требования имеют существенную разницу в границах R_a (от 0,32 до 0,02 мкм) и не включают рекомендации по использованию как к различным технологическим режимам волочения (сухое, мокрое), так и к группам прочности изготавливаемой проволоки. Анализ литературных данных не дает возможности определить точный, единый критерий параметра шероховатости канала волочильного инструмента.

По результатам проведенной работы и с учетом обсуждения рекомендаций технической литературы установлено, что шероховатость поверхности волочильного инструмента, изготовленного на ОАО «БМЗ –

управляющая компания холдинга «БМК» и удовлетворяющего условиям процесса волочения, должна составлять R_a = 0,08–0,02 мкм, класс шероховатости ∇11–∇12.

Выводы

1. Проведен анализ литературных источников, согласно которому рабочий канал волоки должен иметь зеркальную поверхность [2, 3, 7], чистота поверхности должна соответствовать классам шероховатости ∇11–∇12 [2], R_a = 0,04–0,08 мкм [4].

2. В условиях лабораторий ЦЗЛ ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» проведено измерение шероховатости поверхности рабочего канала твердосплавных волок ГСВ. Поверхность рабочего канала волоки ГСВ при удовлетворительной оценке качества полировки рабочего канала при визуальном контроле имеет шероховатость поверхности R_a = 0,03 мкм (∇12).

3. Исследование образцов волок-заготовок на РЭМ показало, что шероховатость поверхности канала волок ГСВ и ТВ, оцененных при визуальном контроле как удовлетворительное качество полировки, определяется только наличием микропор, образующих рельеф поверхности, с отсутствием рисок и следов шлифования.

4. Доказано, что визуальный метод контроля качества полировки рабочего канала твердосплавного волочильного инструмента с помощью стереоскопического микроскопа обеспечивает достаточную точность оценки качества шероховатости поверхности рабочего канала при контроле волок, предназначенных для грубо-среднего и тонкого волочения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Битков В. В.** Технология и машины для производства проволоки. Екатеринбург: УрО РАН, 2004.
2. **Хаяк Г. С.** Инструмент для волочения проволоки. М.: Металлургия, 1974.
3. **Юхвец И. А.** Волочильное производство. Ч. I. М.: Металлургия, 1965.
4. **Николаев В. А.** Теория ковочно-штампового и волочильного производства. Запорожье: ЗГИА, 2005.
5. **Груздев А. П., Зильберг Ю. В., Тилик В. Т.** Трение и смазки при обработке металлов давлением. М.: Металлургия, 1982.
6. **Киффнер Р., Бенезовский Ф.** Твердые сплавы. М.: Металлургия, 1971.
7. **Красильников Л. А., Лысенко А. Г.** Волочильщик проволоки. М.: Металлургия, 1987.
8. **Перлин И. Л.** Теория волочения. М.: Гос. науч.-техн. изд-во лит. по черной и цветной металлургии, 1957.

REFERENCES

1. **Bitkov V. V.** *Tehnologija i mashiny dlja proizvodstva provoloki* [Technology and machines for wire production]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 2004.
2. **Hajak G. S.** *Instrument dlja volochenija provoloki* [Wire drawing tools]. Moscow, Metallurgija Publ., 1974.
3. **Juhvec I. A.** *Volochil'noe proizvodstvo* [Wire drawing production]. Moscow, Metallurgija Publ., 1965.
4. **Nikolaev V. A.** *Teorija kovochno-shtampovogo i volochil'nogo proizvodstva* [The theory of forging and stamping and drawing]. Zaporozh'e, ZGIA Publ., 2005.
5. **Gruzdev A. P., Zil'berg Ju. V., Tilik V. T.** *Trenie i smazki pri obrabotke metallov davleniem* [Friction and lubrication in the treatment of metals by pressure]. Moscow, Metallurgija Publ., 1982.
6. **Kiffner R., Benezovskij F.** *Tverdye splavy* [Solid alloys]. Moscow, Metallurgija Publ., 1971.
7. **Krasil'nikov L. A., Lysenko A. G.** *Volochil'shhik provoloki* [Wire welder]. Moscow, Metallurgija Publ., 1987.
8. **Perlin I. L.** *Teorija volochenija* [Theory of drawing]. Moscow, Gosudarstvennoe nauchno-tehnicheskoe izdatel'stvo literatury po chernoj i cvetnoj metallurgii Publ., 1957.

МЕТАЛЛУРГИЯ

УДК 669.187

Поступила 18.05.2018

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА РЕБЕР ТИПА RM 201 ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АРМАТУРЫ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

Л. В. ЛОКТИОНОВА, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: fml.czl@bmz.gomel.by

Приведены порядок работы и принцип действия измерительного прибора ребер. Прибор используется для определения геометрических параметров арматуры периодического профиля. Принцип его действия основан на оптическом рассмотрении объекта с помощью видеокамер и вывода информации на монитор компьютера.

Ключевые слова. *Измерительный прибор ребер, арматура периодического профиля, относительная площадь смятия, видеокамеры, геометрические размеры, калибровка, программное обеспечение.*

Для цитирования. *Локтионова Л. В. Опыт использования измерительного прибора ребер типа RM 201 при определении геометрических параметров арматуры периодического профиля // Литье и металлургия. 2018. Т. 91. № 2. С. 82–84.*

EXPERIENCE IN THE USE OF THE MEASURING DEVICE RIB TYPE RM 201 WHEN DETERMINING THE GEOMETRIC PARAMETERS OF REBAR PERIODIC PROFILE

L. V. LOKTIONOVA, OJSC « BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin City, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: fml.czl@bmz.gomel.by

The article presents the order of operation and the principle of operation of the measuring device ribs. The device is used to determine the geometric parameters of the ribbed bars. The principle of its operation is based on the optical examination of the object with the help of video cameras and transfer of output information on the computer monitor.

Keywords. *Ribs measuring device, ribbed bars, the relative size of the collapse, video cameras, geometry, calibration, software.*

For citation. *Loktionova L. V. Experience in the use of the measuring device rib type RM 201 when determining the geometric parameters of rebar periodic profile. Foundry production and metallurgy, 2018, vol. 91, no. 2, pp. 82–84.*

На современном этапе развития технологий наряду с основными качественными характеристиками арматуры периодического профиля, которые определяют безопасную эксплуатацию зданий и сооружений, относят и относительную площадь смятия (f_r), расчетная величина которой зависит от геометрических параметров арматуры и определяет ее механическое сцепление с бетоном [1].

Относительную площадь смятия арматуры периодического профиля можно рассчитать по формуле*:

$$f_r = (\pi d - \Sigma_{e_i})\,[h + 2(h_{1/4} + h_{3/4})]/6\pi dt,$$

где d – номинальный диаметр арматуры, мм; h – высота поперечного ребра в середине и в точках четверти длин; t – расстояние между поперечными ребрами; Σ_e – суммарное расстояние между концами поперечных ребер.

Все зарубежные стандарты, ГОСТ, технические условия, по которым производится наработка арматуры, предъявляют требования к контролю геометрических размеров профиля арматуры. Геометрические параметры арматуры периодического профиля измеряются традиционными методами при помощи штангенциркулей, глубиномеров и угломеров. Поскольку в данном случае контроль геометрии ведется приборами визуального контроля, причем каждый из приборов имеет свой диапазон погрешности, то важно правильно использовать свойства зрения человека.

* ISO 15610-1. Сталь для армирования и предварительного напряжения бетона. Методы испытания. Ч. 1. 2010.

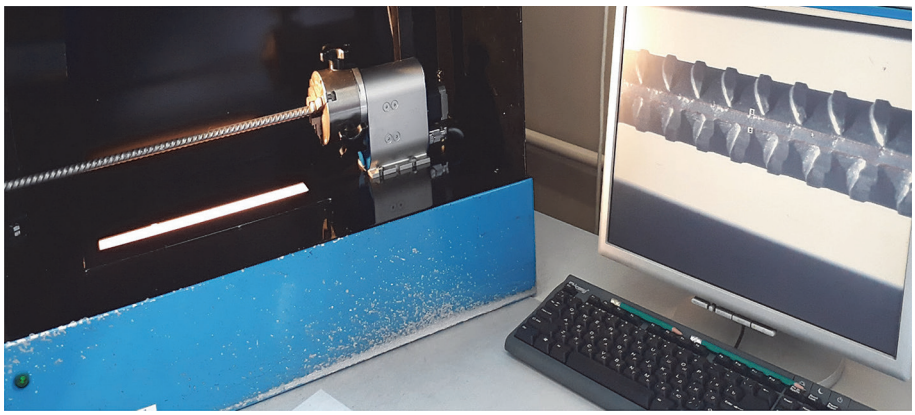


Рис. 1. Измерительный прибор ребер типа RM 201

Современный этап в разработке и использовании средств неразрушающего контроля и диагностики характеризуется интенсивной компьютеризацией. Применение современной вычислительной техники, персональных компьютеров сделало возможным появление качественно нового поколения приборов и систем неразрушающего контроля. Отличительная особенность устройств данного поколения – наличие развитых систем компьютерной обработки информации.

Автоматизированные вычислительные комплексы решают задачи измерения геометрических размеров, углов перемещений, координат и других параметров протяженных и малоразмерных объектов с точностью, превышающей точность традиционных оптико-электронных приборов.

Увеличение потребности в телевизионных средствах наблюдения связано с их свойствами, к которым относятся удобство соединения телевизионного датчика практически с любым компьютером; высокое быстродействие телевизионных систем, позволяющее обрабатывать сигналы от неподвижных, малоподвижных и быстродвижущихся объектов. На основе телевизионных датчиков строятся все системы технического зрения, необходимость которых возрастает в связи с комплексной автоматизацией производства и внедрением робототехнических устройств.

Так, для обеспечения качества арматуры периодического профиля с двумя, тремя, четырьмя и более рядами ребер, а также профилированной арматуры применяют измерительный прибор ребер типа RM 201 (рис. 1), задача которого состоит в автоматизированном проведении замеров геометрических параметров профиля*.

Измерительный прибор ребер позволяет замерять следующие параметры: диаметр арматуры; высоту ребер в середине и в четвертных точках; расстояние между поперечными ребрами; ширину ребер; угол наклона ребер к оси стержня; расстояние между рядами; относительную площадь смятия ребер.

Принцип действия прибора (рис. 2) заключается в следующем. Проверяемый образец арматуры длиной около 200 до 500 мм закрепляется горизонтально в зажимном патроне шагового электродвигателя, вмонтированном в рабочем столе и, вращаясь, согласно измерительной величине, контрастно освещается с разных сторон. Проверяемая часть оптически охватывается с разных сторон двумя высококонцентрированными черно-белыми камерами и изображение выводится на монитор компьютера. Освещение образца арматуры направляется к активному в данное время этапу измерительного процесса. Так, при определении расстояния между рядами, ширины ребер и наклона ребер включается стороннее и нижнее освещение, при определении высоты ребер – только нижнее. Вычислительное устройство и устройство для обработки и распознавания изображений преображают полученное изображение в цифровую или дискретную форму. Принцип измерения основан на выискивании черных-белых переходов, причем границы объекта определяются в оттенках серого цвета методом градиента.

Выбор камер для контрольного измерения зависит от диаметра образца, числа рядов и наклона ребер. Для определения положения рядов и наклона ребер при диаметре арматуры менее 10 мм используются камеры с большим фокусным расстоянием, для больших диаметров – камеры с фокусным расстоянием в 25 мм. При определении высоты ребер необходимо обратить внимание на то, чтобы ребра не совмещались с теневым разрезом. Поэтому система камер переключается автоматически на вторую камеру, через которую можно выявить находящиеся под контролем и все-таки совместившиеся ребра. Все эти действия происходят в процессе измерения автоматически, поэтому нет необходимости что-либо предпринимать.

* Руководство по эксплуатации измерительного прибора ребер типа RM 201/301.

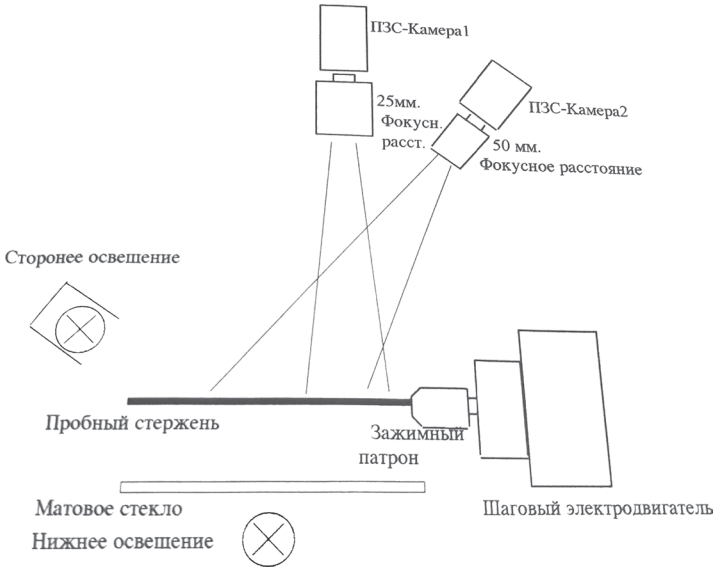


Рис. 2. Принцип действия прибора

При помощи функции в меню программного обеспечения «Измерительное предписание» задается количество рядов ребер арматуры и порядок проведения измерений: автоматически или полуавтоматически. Для контроля в линейке заголовка программы показывается выбранное измерительное предписание. Далее можно при необходимости контролировать мануально определенные единичные измерения в общем процессе. С помощью полуавтоматического измерительного метода можно получить возможность мануально изменять найденную измерительным устройством позицию рядов и расстояние между ними, а также угол наклона ребер и расстояние между ними.

Для точного измерения, особенно высоты ребер в четвертных пунктах, важное значение имеет правильность определения положения и ширины интервалов между рядами, так как точное определение концов ряда является одним из труднейших процессов. Поэтому у сложных образцов, у которых нет ясных границ между рядами ребер, необходимо контролировать выбранное прибором положение и если надо, изменять его.

Результаты всех измерений по каждому ряду ребер фиксируются в сводной итоговой таблице, которая выводится на экран монитора.

Результаты измерений могут быть выданы различными способами:

1. С помощью последовательного интерфейса непосредственно главной ЭВМ. Параметры переноса могут быть отрегулированы с помощью конфигурации прибора.

2. После каждого измерения можно результат выдать печатающему устройству, подключенному к компьютеру.

3. Непосредственно передать в одно из составленных приложений Windows. Это приложение может проходить как самостоятельное задание на ЭВМ параллельно к измерительной программе. Прибор можно также подвести к местной сети и с помощью общего файла «Программы» сделать данные доступными для пользования на других вычислительных устройствах в сети.

Как и каждая измерительная система, прибор проходит регулярную калибровку. Калибровка прибора проводится 1 раз в неделю. Для проведения калибровки к прибору прилагаются два калибровочных стержня, которые имеют идентичный и четко определенный диаметр по всей длине с рисками через постоянные интервалы. Калибровка проводится в автоматическом режиме. Полученные результаты сравниваются с требованиями стандартов.

Программное обеспечение позволяет также производить статистическую обработку полученных данных.

Таким образом, применение и использование измерительного прибора ребер RM 201 в испытательных лабораториях на производстве позволяют минимизировать время выдачи результатов замеров и своевременно внести корректировку в технологический процесс благодаря высокой точности и скорости проведения замеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ахметов Т. А.** Современные тенденции в развитии технологии производства холоднодеформированной арматурной стали // Литье и металлургия. 2014. № 2. С. 65–67.

REFERENCES

1. **Ahmetov T. A.** Sovremennye tendencii v razvitii tehnologii proizvodstva holodnodeformirovannoj armaturnoj stali [Modern trends in the development of technology for the production of cold-worked reinforcing steel]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2014, no. 2, pp.65–67.

МЕТАЛЛУРГИЯ

УДК 669

Поступила 18.05.2018

МОДИФИКАЦИЯ ЛАТУННОГО ПОКРЫТИЯ КОБАЛЬТОМ

И. А. МУРАВЕЙКО, А. В. ДЕМИДОВ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная,37. E-mail: texh.nic@bmz.gomel.by, mn.icm@bmz.gomel.by

Определены основные параметры, влияющие на содержание кобальта в латунном покрытии, исследованы химический состав покрытия и содержание кобальта по толщине покрытия. Нанесение кобальта в латунное покрытие производили из отдельной ванны. Последовательность нанесения: Cu+Zn+Co. Медное покрытие наносили только из электролита щелочного меднения.

Ключевые слова. *Латунное покрытие, модификация, кобальт, диффузия, проволока, электролит.*

Для цитирования: *Муравейко, И. А. Модификация латунного покрытия кобальтом / И. А. Муравейко, А. В. Демидов // Литье и металлургия. 2018. Т. 91. № 2. С. 85–88.*

MODIFICATION OF THE BRASS COATING BY COBALT

I. A. MURAVEIKO, A. V. DEMIDOV, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin City, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: texh.nic@bmz.gomel.by, mn.icm@bmz.gomel.by

The main parameters affecting the cobalt content in the brass coating are determined, the chemical composition of the coating and the cobalt content in the coating thickness are investigated. Cobalt was applied to the brass coating from a separate bath. The sequence of application is as follows: Cu+Zn+Co. Copper coating was applied only from the electrolyte of alkaline copper plating.

Keywords. *Brass coating, modification, cobalt, diffusion, wire, electrolyte.*

For citation: *Muraveiko I. A., Demidov A. V. Modification of the brass coating by cobalt. Foundry production and metallurgy, 2018, vol. 91, no. 2, pp. 85–88.*

Положительное влияние легирующих добавок на устойчивость латунированного металлокорда к коррозии, прочность и стабильность адгезионной связи металлокорд – резина можно объяснить следующим образом. Во-первых, в процессе вулканизации резинокордного композита образуются дополнительные реакционно-способные сульфиды, например, кобальта или никеля, активно участвующие в адгезионном взаимодействии. Во-вторых, ионы никеля и кобальта, внедряясь в слой оксида цинка, снижают его ионную проводимость, что приводит к уменьшению диффузии ионов меди и цинка в область контакта латуни с резиной и, следовательно, образованию рыхлых и малоактивных сульфидных пленок. В-третьих, легирующие добавки повышают стойкость латунного покрытия к селективной и псевдоселективной коррозии [1].

При действии корродирующей среды, т.е. воды, кислорода и хлоридов, на резинометаллокордный композит происходит начальная селективная коррозия, при которой ионизации подвергается более электрохимически отрицательный элемент, т.е. цинк. Образуется дефектный поверхностный слой, обогащенный более электроположительным элементом, т.е. медью. Далее следует равномерное растворение, при котором оба компонента латуни переходят в ионную форму со скоростями, пропорциональными их содержанию. И, наконец, по истечении определенного времени ионы более электроположительного элемента восстанавливаются на поверхности латуни, образуя новую фазу. Последняя стадия получила название псевдоселективной коррозии.

Введенные в состав латуни металлы с более электроположительным, чем у цинка, стандартным электродным потенциалом, например, кобальт, олово, свинец, в процессе воздействия корродирующей среды растворяются с меньшей скоростью, чем цинк. В результате этого происходит их накопление в по-

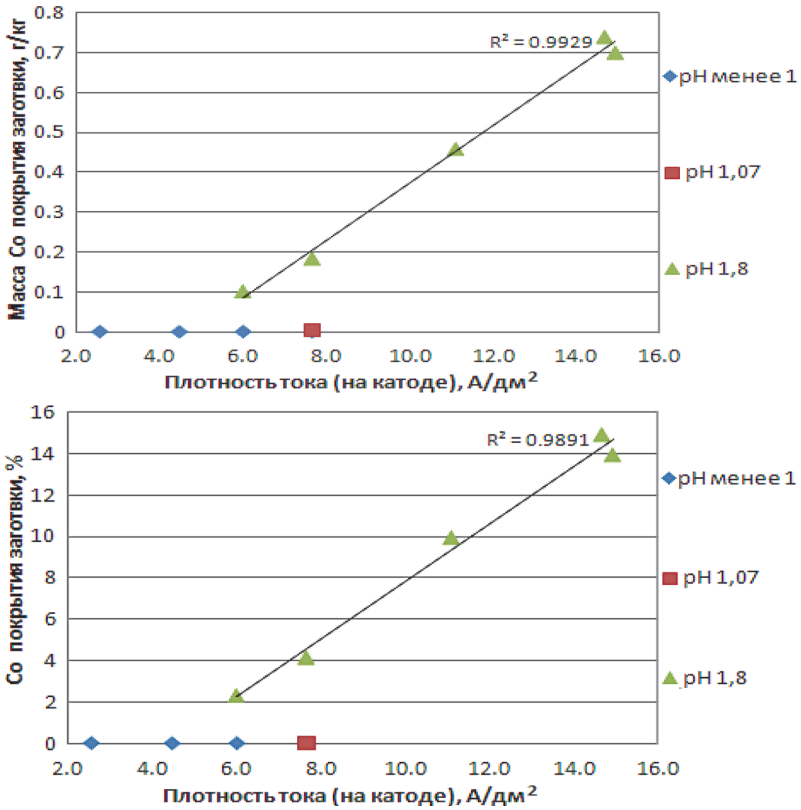


Рис. 1. Зависимость содержания кобальта в латунном покрытии заготовки от основных технологических параметров ванны кобальтирования

верхностном слое и стабилизация последнего. Кроме того, образующиеся при действии кислорода воздуха оксиды кобальта, никеля или олова затрудняют образование зародышей металлической меди при псевдоселективной коррозии.

В данной статье представлены результаты работы по модификации латунного покрытия кобальтом. Последовательность нанесения: Cu+Zn+Co. Медное покрытие наносили только из электролита щелочного меднения.

Для приготовления электролита кобальтирования использовали сульфат кобальта, сульфат натрия, сульфат алюминия, серную кислоту и для увеличения pH – щелочь (NaOH).

На рис. 1 показана степень влияния технологических параметров ванны кобальтирования на содержание кобальта в латунном покрытии.

Анализ проведенной работы показывает, что при величине pH ≈ 1 кобальт на проволоке практически не осаждается (вероятно, из-за побочной реакции восстановления водорода). При одной и той же токовой нагрузке в 6 А содержание кобальта в покрытии увеличилось от 0,034% при нанесении из кислого раствора (pH раствора менее 1) до 4,17% при увеличении водородного показателя до 1,8.

После увеличения pH раствора до 1,8 наблюдалась практически линейная зависимость содержания кобальта в покрытии от заданной силы тока на ванну кобальтирования.

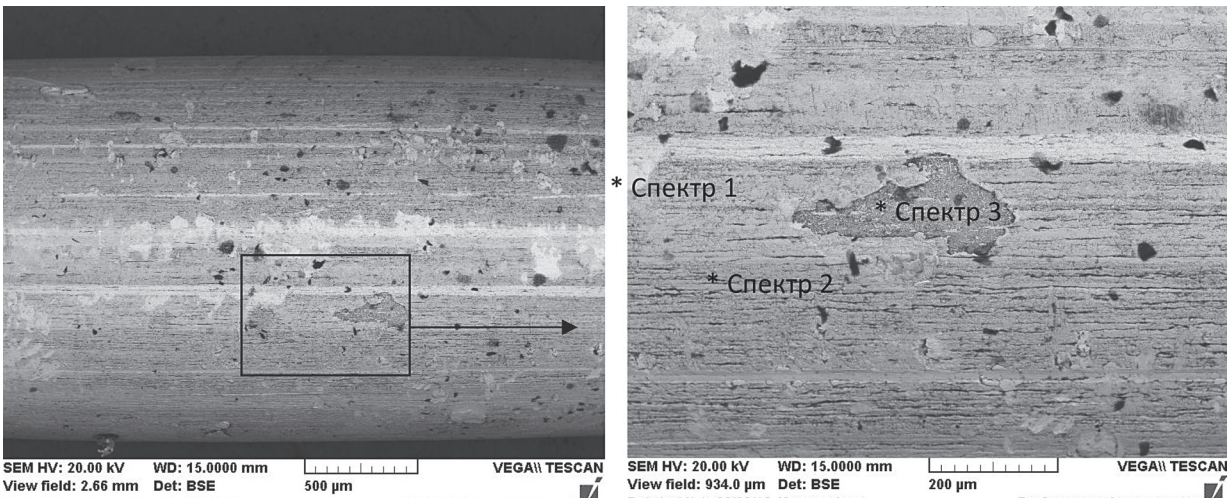
Нанесение кобальта из отдельной ванны кобальтирования позволяет легко управлять процессом осаждения (химическим составом) покрытия на проволоку: количество кобальта на проволоке при постоянной величине pH раствора зависит только от задаваемой силы тока на проволоку.

Внешний вид латунированной заготовки с содержанием кобальта в покрытии до 1,5% имел соломенный цвет и ничем не отличался от обычного латунного покрытия (Cu+Zn). С увеличением содержания кобальта цвет становился более темным и доходил до пятнистого «грязно-бурого».

На рис. 2, 3 приведены результаты исследования образцов поверхности латунированной заготовки на растровом электронном микроскопе с рентгеновским микроанализатором.

Для оценки полноты диффузии два образца заготовки с различным содержанием кобальта были исследованы на РЭМ с РМА.

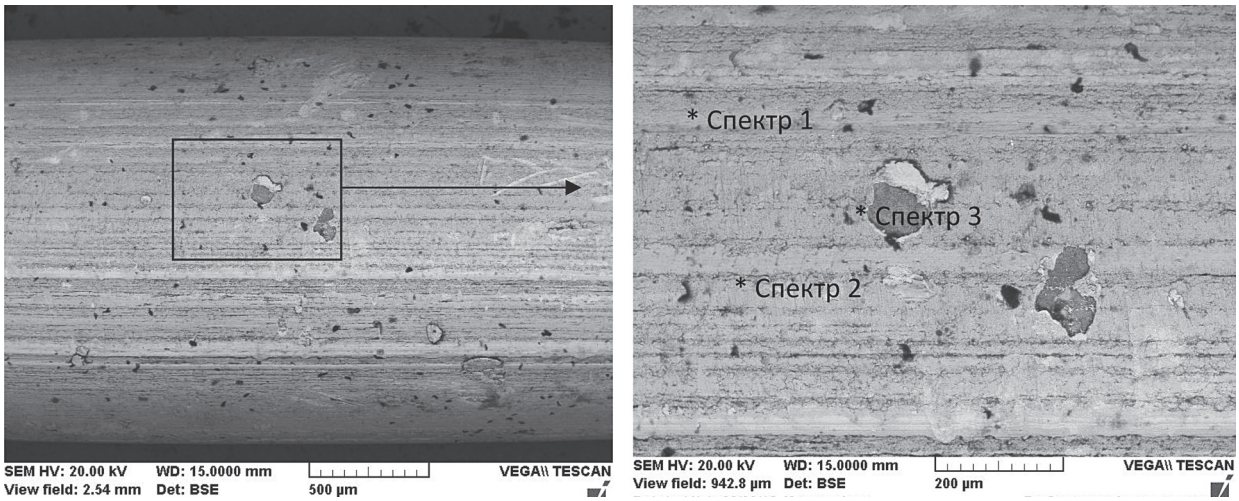
Исследование химического состава покрытия проводили при помощи растрового электронного микроскопа, оснащенного системой микроанализа, на поперечных шлифах заготовки в восьми точках по



Приблизительный химический состав покрытия, собранный с поверхности заготовки, вес.%

Название спек...	O	P	Fe	Co	Cu	Zn	Итог
Спектр 1	7.08	1.29	3.72	35.98	32.08	19.84	100.00
Спектр 2	8.28	1.20	4.29	22.18	42.57	21.49	100.00
Спектр 3	5.99	2.16	56.50	0.00	24.42	10.94	100.00

Рис. 2 Результаты исследования на РЭМ с РМА поверхности латунированной заготовки диаметром 1,77 мм (сила тока на проволоку 9 А)



Приблизительный химический состав покрытия, собранный с поверхности заготовки, вес.%

Название спек...	O	P	Fe	Co	Cu	Zn	Итог
Спектр 1	13.15	1.13	3.32	52.01	13.30	17.09	100.00
Спектр 2	16.28	1.71	4.04	49.72	11.87	16.38	100.00
Спектр 3	22.49	2.88	65.82	0.81	5.57	2.43	100.00

Рис. 3. Результаты исследования на РЭМ с РМА поверхности латунированной заготовки диаметром 1,77 мм (сила тока на проволоку 11,5 А)

периметру образца. Спектры собирали в трех точках по толщине покрытия: на границе покрытие–металл (г), в середине покрытия (с), у поверхности покрытия (п) и по всей толщине. Результаты анализа покрытия приведены в таблице.

Из таблицы видно, что основная масса кобальта находится у поверхности латунного покрытия. Так как соотношение Zn/Cu по толщине латунного покрытия изменяется незначительно, это свидетельствует о низкой диффузионной способности кобальта в латуни.

Подбор оптимальных режимов термодиффузии для достижения заданных характеристик должен производиться опытным путем в зависимости от дальнейшего назначения заготовки с модифицированным латунным покрытием.

Химический состав покрытия

Образец	Точка анализа	1	2	3	4	5	6	7	8	Среднее
1	% Cu									
	г	77,4	63,5	67,4	62,8	63,7	61,8	61,5	63,7	65,2
	с	75,2	63,8	63,1	59,4	61,3	60,4	59,7	63,5	63,3
	п	75,5	60,7	60,3	57,7	59,1	59,7	58,8	63,9	61,9
	по толщине	77,0	61,6	63,4	60,4	60,9	61,0	60,8	63,2	63,5
	% Zn									
	г	22,6	36,5	32,6	37,1	36,2	40,3	38,5	36,2	35,0
	с	24,8	36,2	36,9	40,6	38,0	37,8	40,3	36,5	36,4
	п	24,5	30,9	36,8	37,8	34,5	38,1	37,5	35,2	34,4
	по толщине	23	35,9	35,7	38,3	36,8	37,8	38,1	36,2	35,2
	% Co									
	г	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	с	0	0	0	0	0,7	0,4	0	0	0,1
	п	0	8,4	2,8	4,5	6,4	1,5	3,7	0,9	3,5
	по толщине	0	2,4	0,8	1,3	2,2	0,5	1,1	0,6	1,1
Толщина покрытия, мкм		1,8	2,2	2,1	2,2	2,0	2,2	2,0	1,9	2,1
2	%Cu									
	г	70,4	68,2	70,7	67,3	63,8	64,9	63,2	66,4	66,9
	с	69,7	65,0	67,9	65,8	61,9	64,9	61,6	64,7	65,2
	п	61,7	54,2	53,3	43,4	35,2	13,6	34,2	20,4	40,0
	по толщине	66,0	63,1	64,7	60,6	56,3	54,8	59,6	57,8	60,4
	% Zn									
	г	29,6	31,0	29,3	32,7	35,7	35,0	36,9	33,2	32,9
	с	29,3	32,1	31,3	32,6	35,6	32,7	35,5	33,7	32,9
	п	25,9	27,2	26,1	24,2	20,5	7,2	20,9	12,1	20,5
	по толщине	25,8	30,1	27,9	31,7	32,1	27,0	31,3	28,6	29,3
	% Co									
	г	0	0,8	0	0	0,5	0	0	0,4	0,2
	с	0,9	2,9	0,9	1,6	2,6	2,4	2,9	1,6	2,0
	п	12,4	18,6	20,6	32,4	44,3	79,1	44,9	67,4	40,0
	по толщине	5,4	6,9	7,4	8,7	11,6	18,2	9,2	13,6	10,1
Толщина покрытия, мкм		2,4	2,7	2,9	2,4	1,9	2,4	2,1	2,6	2,4

ЛИТЕРАТУРА

1. **Маршаков И. К., Пчельников А. П., Лосев В. В.** // Электрохимия. 1983. Т. 19. Вып. 3.

REFERENCES

1. **Marshakov I. K., Pchel'nikov A. P., Losev V. V.** *Jelektrohimija = Electrochemistry*, 1983, vol. 19, vyp. 3.

МЕТАЛЛУРГИЯ

УДК 669

Поступила 18.05.2018

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ КАМЕРЫ ДЛЯ ИСКУССТВЕННОГО СТАРЕНИЯ ПРОДУКЦИИ НА ОАО «БМЗ – УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БМК»

Т. И. АКАТЬЕВА, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: fmi.czl@bmz.gomel.by

В статье приводится порядок работы с камерой искусственного климата типа 2Х-5655-СН фирмы «MONTAGNA». Проведение ускоренных коррозионных испытаний дает возможность определить способность поставляемой поставщику продукции, сохранять свои свойства при транспортировке, переработке, длительном хранении, а также при дополнительных исследовательских испытаниях в условиях искусственного старения у потребителя, разрабатывать методы противокоррозионной защиты и улучшения качества и конкурентоспособности выпускаемой продукции.

Ключевые слова. *Коррозия, коррозионная стойкость, камера искусственного климата, антикоррозионный состав, противокоррозионная защита, атмосферная коррозия, относительная влажность.*

Для цитирования: *Акатьева, Т. И. Опыт применения климатической камеры для искусственного старения продукции на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» // Литье и металлургия. 2018. Т. 91. № 2. С. 89–93.*

EXPERIENCE WITH THE USE OF THE CLIMATIC CHAMBER FOR ARTIFICIAL AGEING PRODUCTS AT OJSC «BSW – MANAGEMENT COMPANY OF HOLDING «BMC»

T. I. AKATYEVA, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin City, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: fmi.czl@bmz.gomel.by

The article presents the working procedure for the camera of artificial climate type 2 X-5655-PAGE of the company «MONTAGNE». Accelerated corrosion tests in the camera make it possible to determine the ability of finished supplied products to maintain theirs properties during transportation, processing, long-term storage, as well as additional research tests in the conditions of artificial aging at the consumer, to develop methods of corrosion protection and improve the quality and competitiveness of products.

Keywords. *Corrosion, corrosion resistance, artificial climate chamber, anti-corrosion composition, anti-corrosion protection, atmospheric corrosion, relative humidity.*

For citation: *Akatyeva T. I. Experience with of the climatic chamber for artificial ageing products at OJSC «BMZ – holding management company «BMK». Foundry production and metallurgy, 2018, vol. 91, no. 2, pp. 89–93.*

В процессе использования все материалы подвергаются широкому спектру воздействия, которые значительно влияют на срок их службы. Большое количество разнообразных факторов приводит к старению, что всегда подразумевает негативное изменение свойств материалов. Эти факторы можно разделить на две основные категории (рис. 1) [1].

Чтобы правильно оценить реальную надежность разрабатываемой или серийно-выпускаемой продукции, ее необходимо экспериментально испытать в условиях воздействия тех факторов, которые влияют на долговечность и сохранность. Это можно проверять в естественных условиях, но для экономии времени и средств на этапе разработки специалисты стремятся увеличить скорость испытаний для более быстрого получения результата.

В данном случае рассматривается внешний фактор – климатическое совокупное воздействие температуры и влажности, так как продукция может подвергаться атмосферной коррозии в процессе транспортировки и хранения.

Задачей производителя продукции было и остается выяснение сущности явлений коррозии, разработка мер, препятствующих или замедляющих ее протекание.

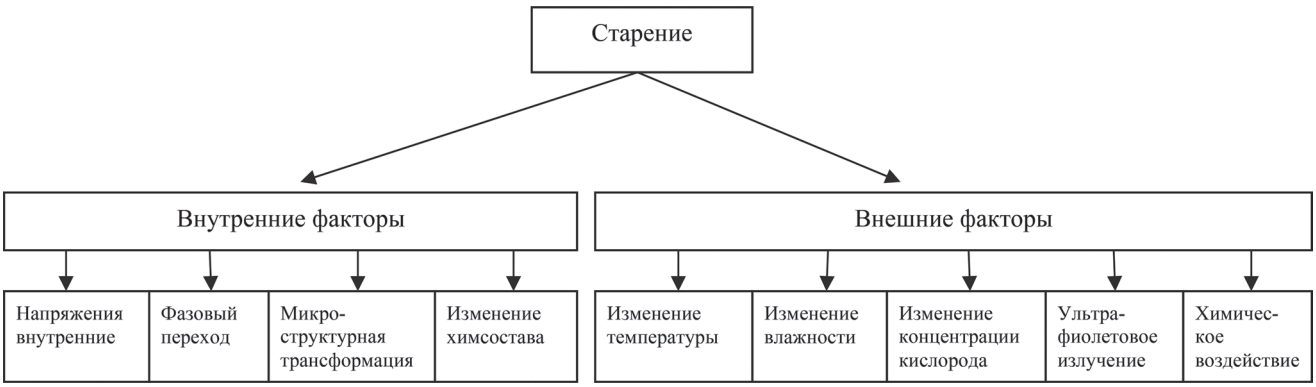


Рис. 1. Классификация факторов, влияющих на старение

Рис. 2. Камера искусственного климата марки 2Х-5655-СН

Атмосферная коррозия – коррозия металлов в условиях атмосферы, наблюдается под конденсационными видимыми слоями влаги на поверхности металла (мокрая атмосферная коррозия) или под тончайшими невидимыми адсорбционными слоями влаги (влажная атмосферная коррозия). Особенностью атмосферной коррозии является ее сильная зависимость скорости и механизма от толщины слоя влаги на поверхности металла или степени увлажнения образовавшихся продуктов коррозии.

Влажность ускоряет старение материала так же как и температура, и является фактором, ускоряющим химические реакции. Относительная влажность – это отношение парциального давления водяного пара к равновесному давлению пара при заданной температуре.

Для испытания в условиях, приближающихся к атмосферной коррозии, применяются ускоренные коррозионные испытания в специальных влажных камерах, что позволяет сохранить и время, и ресурсы за счет быстрого получения результатов. Для моделирования процесса коррозионного старения используется камера искусственного климата марки 2Х-5655-СН производства фирмы «MONTAGNA» (Италия) (рис. 2), которая работает в диапазоне температуры искусственного климата от 30 до 100 °С и относительной влажности от 10 до 98%. Моноблочная камера сконструирована таким образом, чтобы допускалась минимальная передача тепла, исключая «мосты» теплообмена наружной части с внутренней. Камера снабжена системой обработки воздуха, при помощи вентиляторов происходит его рециркуляция, обеспечивается хорошее распределение воздуха и гарантируется равномерность температуры в камере. Благодаря этому гарантируется быстрая подгонка температуры испытываемых образцов к изменениям температуры в камере. Установка терморегулировки нагревает воздух, который отсасывается из камеры и снова подается в нее. Устанавливаемые нагревательные элементы обеспечивают минимальную тепловую инерцию и исключают всякое попадание лучевой энергии на испытываемые образцы. Система увлажнения работает по принципу впрыска водяного пара в камеру. С помощью реле регулируется давление пара и поддерживается постоянным в пределах 0,3–0,4 атм. Для правильной работы камеры температура окружающего помещения не должна превышать +30 °С*.

* Справочник по уходу и эксплуатации камеры искусственного климата 2Х-5655-СН, 1987. 37 с.

Продукция метизного производства (металлокорд, бортовая бронзированная проволока) на этапах разработки новых видов продукции должна отвечать не только требованиям спецификаций, но и иметь способность сохранять свои свойства при транспортировке, переработке, длительном хранении и дополнительных исследовательских испытаниях в условиях искусственного старения у потребителя.

Латунное и бронзированное покрытие не является коррозионностойким, поэтому все опытные и исследовательские образцы металлокорда и бортовой бронзированной проволоки должны проходить тест на коррозионную стойкость. Старению подвергают как сами образцы, так и образцы в упаковке. Также подвергаются старению образцы, завулканизированные в резину на лабораторных компаундах фирм-потребителей. Это обеспечивает в дальнейшем удовлетворительные результаты испытаний прочности связи с резиной на входном контроле у фирм-потребителей, а также устраняет вероятность появления коррозии на поверхности во время транспортировки. Определяется уровень прочности связи с резиной, затем оставшиеся пробы из завулканизированного блока подвергаются старению в климатической камере в экстремальных условиях (влажность – 90%, температура – 35 °С) в течение 2 и 4 сут. После испытания определяется уровень прочности связи с резиной после старения. По опыту многочисленных работ на исследуемых образцах металлокорда уровень падения прочности связи с резиной после выдержки в течение 2 и 4 сут при влажности 90% находится в пределах 5–13% и соответствует нормам спецификаций.

В лабораторных условиях специалистами исследовательского центра и центральной заводской лаборатории была проведена работа по определению влияния атмосферной влаги на вероятность возникновения коррозии проволоки в результате конденсации атмосферной влаги. При упаковке и хранении бортовой бронзированной проволоки теоретически возможно возникновение ситуации, когда сочетание температуры и влажности в момент упаковки продукции, а также суточные колебания температуры приводят к возникновению росы под упаковкой. Также возможны ситуации, когда температурные перепады при перемещении проволоки из мест с низкой температурой в отапливаемые помещения приводят к выпадению росы на поверхность упаковки, что вызывает коррозию упакованной продукции. Для этого в климатической камере упакованные образцы подвергают старению в экстремальных условиях (влажность – 90%, температура – 35 °С) в течение 10 сут и неупакованные образцы в течение 5 сут. Затем определяют наличие коррозионных пятен и уровень прочности связи с резиной. После такого воздействия образцы запрессовывали в компаунд. Было сделано заключение, что если проволока изготовлена без нарушений технологического процесса, то это не приводит к образованию коррозии на поверхности проволоки и уровень прочности связи с резиной остается в нормируемых пределах спецификации. Если же происходит нарушение в течение технологического процесса бронзирования (загрязнение сопел обдува после технологических ванн; накопление травильного шлама и загрязнения на роликах и поводковой системе по всему маршруту движения проволоки), то это может привести к образованию разного вида дефектов покрытия и, как следствие, появлению точечной коррозии на поверхности проволоки.

Помимо качества самой продукции, на коррозионную стойкость большое влияние оказывает и качество упаковки. Для защиты поверхности проволоки при попадании катушек с проволокой под воздействие атмосферных осадков при транспортировке и разгрузке необходима достаточно надежная упаковка. Специалисты предприятия провели испытания разных типов упаковочной бумаги, крепированной с антикоррозионным покрытием (ингибитором) с целью расширения списка одобренных поставщиков. Испытания в лаборатории проводили для двух видов упаковочных бумаг – крепированной с антикоррозионным покрытием (ингибитором) для цветного металла, полиэтиленовым и без полиэтиленового покрытия. Цель работы заключалась в проведении тестов на способность антикоррозионных (опытных) и серийных бумаг обеспечивать сохранность продукции при резких перепадах температуры. Были предусмотрены шесть вариантов готовой бортовой бронзированной проволоки с кумароновым покрытием и без кумаронового покрытия. Разработана схема проведения сравнительного теста защиты бортовой бронзированной проволоки от воздействия влаги с использованием климатической камеры:

- выдержка в климатической камере в течение 3 сут при влажности 80% и температуре 40 °С;
- выдержка в климатической камере в течение 3 сут при увеличении влажности до 96% и температуре 40 °С;
- выдержка в течение 3 сут в условиях лаборатории, не вскрывая упаковку;
- выдержка в климатической камере в течение 4 сут при влажности 96% и температуре 40 °С;
- визуальный контроль коррозионной стойкости образцов бортовой бронзированной проволоки;
- прочность связи с резиной по методам фирм-потребителей, стандартам и ГОСТ (фирмы «Бриджстоун», «Мишлен», «Гудиер», «Континенталь», ASTM D, Н-метод).

После проведения теста на защиту образцов бортовой бронзированной проволоки от воздействия влаги с использованием климатической камеры поверхность проволоки исследовали визуально под стереоскопическим микроскопом. В результате выявлены поставщики, бумага которых не прошла тест на защиту образцов проволоки от воздействия влаги и не обеспечила удовлетворительную сохранность продукции. Были подобраны лучшие варианты упаковки образцов.

В прокатном производстве для поиска альтернативных поставщиков, снижения себестоимости готовой продукции проводили испытания новых материалов, инструмента и комплектующих с закупкой опытных партий.

С целью недопущения претензий о несоответствии качества продукции (прутков), для обеспечения защиты поверхности от коррозии горячекатаного прутка диаметром 20–80 мм из низколегированных и углеродистых качественных марок сталей с обточкой и полировкой на бесцентровом токарном комплексе PUR 100 специалистами исследовательского центра была проведена работа по подбору антикоррозионных материалов фирм-производителей «Castrol», «FUCHS», «KLUBER», «OKS», «CIMCOOL».

Противокоррозионная защита – процессы или средства, применяемые для уменьшения или прекращения коррозии металла.

Существует несколько решений по организации защиты поверхности проката от коррозии:

1. *Ручное нанесение*

Данный метод позволяет использовать огромное количество различных антикоррозионных средств с разным гарантированным сроком защиты поверхности проката, а также дает возможность наносить антикоррозионные составы в зависимости от требований потребителя. Главным недостатком метода являются трудоемкость процесса и сложность ведения контроля целостности покрытия. Кроме того, метод опасен для персонала ввиду присутствия в воздухе ядовитой и взрывоопасной смеси. Для равномерного нанесения антикоррозийных средств на поверхность прутка требуется организация рабочего места с возможностью поворачивания прутка.

2. *Установка автоматической системы распыления антикоррозионных материалов*

Данный метод является одним из наиболее эффективных. Систему распыления предполагается установить после трайб-аппарата правильно-полировальной машины. Использование данного метода позволит применять различные антикоррозионные средства, обеспечивающие гарантированный срок защиты проката вплоть до долгосрочной консервации продукции. Кроме того, позволяет проводить контроль толщины и целостности образующегося покрытия и не требует выделения дополнительного персонала для нанесения защитного материала.

3. *Замена полировального масла на антикоррозионный состав*

Данный метод обеспечивает защиту проката, но ограничивает номенклатуру используемых антикоррозионных средств. Срок защиты ограничен тремя месяцами при хранении в закрытых помещениях либо при транспортировке закрытыми грузовиками.

Для испытаний антикоррозионных материалов на 15 подготовленных образцах обточенного прутка методом окунания наносили различные составы антикоррозионных материалов (антикоррозионный материал «Castrol» Rustilo DW 310 HF, «Castrol» Rustilo DW 330, «Castrol» Rustilo DW 370, «Youghton» RUST VETO 325 DT, «CIMCOOL» CIMGUARD 20, «KLUBER» CONTRAKOR 16L, смесь антикоррозионного материала и правильно-полировального масла «FUCHS» ECOCUT 32 EP). В камере был создан искусственный климат, при котором на образцах за счет высокой относительной влажности (около 98%) и резких границ температур образовалась коллоидная система с дисперсной средой. Образцы выдерживали в камере в течение 7 сут в изготовленной кассете на 20 образцов. Для наглядного эффекта в камеру также положили три контрольных образца без дополнительного покрытия.

По результатам проведенных испытаний выявлены антикоррозионные составы, которые показали хорошие защитные свойства. Предложены методы нанесения тех или иных производителей (ручным или автоматическим методом в зависимости от токсичности, легко воспламеняемости материала и качества нанесения покрытия). Даны рекомендации при заключении контрактов (или разработке других нормативных документов) на обточенный пруток с требованием по недопущению коррозии на поверхности и согласование нанесения антикоррозионного состава с потребителем.

Так как требования к эксплуатационно-технической надежности и коррозионной стойкости материалов повышаются, на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» проводятся работы по коррозионному мониторингу и коррозионные испытания материалов для решения научных и практических задач, направленных на обеспечение длительной безопасной эксплуатации продукции. Разрабатываются

и совершенствуются методы противокоррозионной защиты для постоянного поиска и улучшения качества и конкурентоспособности продукции прокатного и метизного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Жарский М. И.** Коррозия и защита металлических конструкций и оборудования, Минск: Выш. шк., 2012. С. 257–265.

REFERENCES

1. **Zharskij M. I.** *Korrozija i zashhita metallicheskih konstrukcij i oborudovanija* [Corrosion and protection of metal structures and equipment]. Minsk, Vyshjejshaja shkola Publ., 2012, pp. 257–265.

МЕТАЛЛУРГИЯ

УДК 669.054.82

Поступила 18.05.2018

ДЕТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ И ОПТИМАЛЬНЫЙ ВЫБОР АБРАЗИВА ДЛЯ МОКРОГО ШЛИФОВАНИЯ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

И. В. БАЗУЕВ, Ю. В. ПРИБЫТКОВ, И. А. КОВАЛЕВА, И. А. ОВЧИННИКОВА,
ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь,
ул. Промышленная, 37. E-mail: meh.icm@bmz.gomel.by

В трубопрокатном цехе на участке подготовки оправок и дисковых пил на бесцентровом токарно-шлифовальном комплексе ВТ-8 «Hetran» для ремонта оправок проведены исследования по испытанию опытных шлифовальных лент. Выбор основывался на сравнительном анализе работы опытных шлифовальных лент с промышленно-применяемыми. Рассчитана стойкость шлифовальных лент на одну оправку. Получен положительный результат (экономический эффект) при использовании опытных шлифовальных лент.

Ключевые слова. *Абразивный материал, оксид алюминия, циркониевый электрокорунд, керамическое зерно, компактное зерно, трубопрокатный цех, бесцентровой токарно-шлифовальный комплекс ВТ-8 «Hetran», стойкость шлифовальных лент.*

Для цитирования. *Базуев И. В. Детальное исследование показателей работы и оптимальный выбор абразива для мокрого шлифования высоколегированных сталей / И. В. Базуев, Ю. В. Прыбытков, И. А. Ковалева, И. А. Овчинникова // Литье и металлургия. 2018. Т. 91. № 2. С. 94–98.*

A DETAILED STUDY OF THE PERFORMANCE AND OPTIMAL CHOICE OF ABRASIVE FOR WET GRINDING OF HIGH–ALLOYED STEELS

I. V. BAZUEV, YU. V. PRIBYTKOV, I. A. KOVALEVA, I. A. OVCHINNIKOVA, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin City, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str.
E-mail: meh.icm@bmz.gomel.by

In the pipe-rolling shop, on the site of preparation of mandrels and disc saws were the centerless turning and grinding complex VT-8 «Hetran» for repair of mandrels are used, studies have been conducted to test experienced grinding belts. The choice was based on a comparative analysis of the work of experienced grinding belts with usual industrial grinding belts. The resistance of grinding belts for one mandrel is calculated. A positive result (economic effect) was obtained by using experienced grinding belts.

Keywords. *Abrasive material, aluminium oxide, aluminium zirconate, ceramic grain, compact grain, pipe-rolling shop, centerless turning and grinding complex W-8 «Hetran», the durability of the grinding belts.*

For citation. *Bazuev I. V., Pribytkov Yu. V., Kovaleva I. A., Ovchinnikova I. A. A Detailed study of the performance and optimal choice of abrasive for wet grinding of high-alloyed steels. Foundry production and metallurgy, 2018, vol. 91, no. 2, pp. 94–98.*

Для подготовки прокатного инструмента применяется операция шлифовки. Операцию шлифовки используют для получения заданных размеров с высокой точностью, а также достижения наименьшей шероховатости поверхности изделия. Основой шлифовального инструмента служат зерна абразивного материала, выполняющие функции микрорезцов, осуществляющих микрорезание обрабатываемого материала и пластическое деформирование поверхностного слоя металла.

На пути к совершенству решающее значение имеет применение лучшего оборудования и высококачественных абразивов. Одним из самых современных и эффективных способов обработки металла является применение шлифовальной ленты.

Основная проблема при выборе шлифовальных лент для обработки высоколегированных сталей – отсутствие рекомендаций производителей шлифовальных лент по материалам и режимам работы оборудования. Шлифовальные ленты различных производителей различаются не только в процентном содержании абразивного материала, но и в качестве связующих слоев.

В качестве абразива шлифовальных лент часто используют карбид кремния, керамический абразив, оксид алюминия, циркониевый электрокорунд. Рассмотрим данные виды абразивов.

Оксид алюминия (рис. 1)

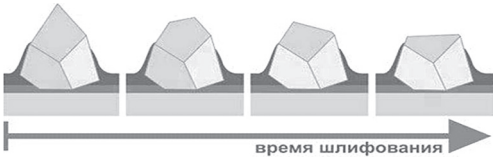


Рис. 1. Схематическое изображение процесса износа

Данный абразивный материал еще называют электрокорунд и получают его искусственным из оксида алюминия. Электрокорунд применяется при обработке всех материалов при практически любых операциях шлифования. Наиболее широко применяется в деревообрабатывающей промышленности, что связано с его невысокой стоимостью. Однако относительно невысокая твердость зерна электрокорунда ограничивает его применение в металлообработке. Абразив довольно хорошо справляется с финишными операциями.

Циркониевый электрокорунд (рис. 2)

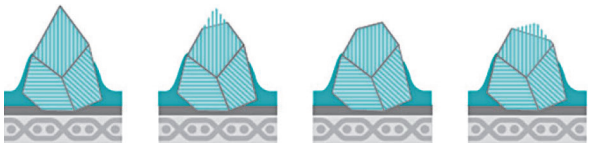


Рис. 2. Схематическое изображение процесса износа

Циркониевый электрокорунд обладает высокой агрессивностью в сравнении с обычным электрокорундом. При изготовлении шлифовальных лент с абразивом из циркониевого электрокорунда к данному абразиву добавляют электрокорунд в определенной пропорции. Содержание циркониевого электрокорунда в лентах нормируется производителем лент. От этого соотношения зависят производительность шлифовальных лент, их назначение и цена.

Шлифовальные ленты с циркониевым электрокорундом наилучшим образом ведут себя при грубой обработке черных металлов. Они обладают довольно высокой скоростью резания за счет высокой способности зерна к самозатачиванию при относительно невысокой стоимости.

Керамическое зерно (рис. 3)

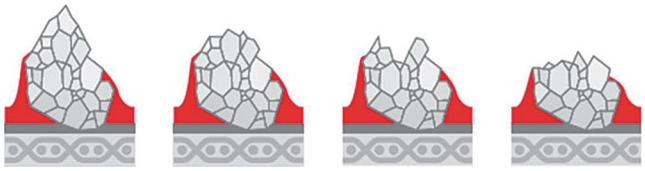


Рис. 3. Схематическое изображение процесса износа

Керамическое зерно было создано для самых агрессивных операций шлифования металла. Ввиду своей высокой твердости и прочности керамическое зерно отлично справляется с обработкой очень твердых материалов. Использование охлаждения при высоких скоростях резания дает возможность избежать перегрева обрабатываемого металла, а также увеличить время службы абразивного материала. Наилучшим образом шлифовальные ленты с керамическим зерном подходят для обработки нержавеющих, жаропрочных сталей и других твердых металлов. Производители абразивных шлифовальных лент имеют в своем ассортименте продукции ленты с различным соотношением керамического зерна и электрокорунда, что влияет на их характеристики и цену.

Компактное зерно (рис. 4)

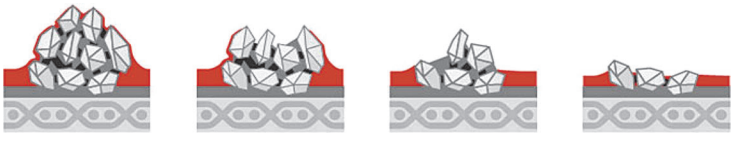


Рис. 4. Схематическое изображение процесса износа

Компактное зерно (компакт-зерно) состоит из отдельных гранул, каждая из которых представляет собой склеенный блок с множеством различных абразивных зерен (электрокорунд, циркониевый электрокорунд, керамическое зерно и др.). Наиболее полно потенциал компакт-зерна раскрывается при машинном шлифовании. В процессе шлифования обеспечивается длительный срок службы, одинаковый съем материала и одинаковое качество получаемой поверхности на протяжении всего срока службы абразивного материала*.

В трубопрокатном цехе на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» при производстве бесшовных труб используется множество сменного инструмента. Одним из этих инструментов являются цилиндрические оправки непрерывного стана PQF длиной 9750 мм, диаметром от 81,4 до 175,4 мм (в зависимости от типоразмера производимой трубы), выполненные из кованой марки стали X35CrMo05, поверхность которых покрыта слоем блестящего хрома толщиной от 45 до 55 мкм, твердостью 60–62 HRC и шероховатостью 0,4–0,8 R_a. Ее назначение–получение черновой трубы требуемого диаметра, толщины стенки и качества внутренней поверхности из гильзы, полученной на прошивном стане. В процессе работы, несмотря на применяющиеся технологические смазки, на оправку непрерывного стана воздействуют существенные знакопеременные нагрузки, высокие температуры, силы трения достигают значительных величин. Результатом перечисленных выше факторов является местный износ поверхности оправок непрерывного стана. Для предотвращения значительной выработки оправок и снижения качества производимых бесшовных труб данные оправки выводят из работы и отправляют на участок ремонта. Ремонт производят путем переточки оправки в меньший типоразмер (в зависимости от степени залегания дефектов).

На участке подготовки оправок и дисковых пил на бесцентровом токарно-шлифовальном комплексе ВТ-8 «Hetran» для ремонта оправок ранее использовали шлифовальные ленты одного производителя. Ввиду высокой стоимости шлифовальных лент данного производителя, а также низкой стойкости специалистами исследовательского центра была проведена работа по поиску альтернативных производителей с испытанием различных абразивных материалов шлифовальных лент.

Проводя подбор материала шлифовальных лент, обеспечивающих требуемый съем металла оправки, были испытаны комплекты шлифовальных лент с различными абразивными материалами.

Проведение испытаний опытных шлифовальных лент основывалось на сравнительном анализе работы с промышленно-применяемыми. Было подготовлено несколько комплектов экспериментальных шлифовальных лент с различным видом зерна. Ленты выводились из эксплуатации по их фактическому износу, обрыву или по увеличению шероховатости обработанной поверхности выше технически допустимых пределов. Шероховатость поверхности, согласно требованиям, не должна превышать значения 0,8 R_a.

Испытание шлифовальных лент проводили в две кампании (испытание двух комплектов) на полировальном станке. Полировальный станок состоит из трех планетарных ленточных полировальных блоков с тянущими роликами (рис. 5), смонтированными на общей раме основания. Каждый отдельный ленточный полировальный блок состоит из одной полировальной головки с тремя роликами: один холостой, один тянущий и один приводной. Приводной ролик связан с помощью зубчатого ремня с двигателем переменного тока мощностью 45 кВт, получающим управление от преобразователя переменного тока, и обращается вокруг неподвижной шестерни. Четыре блока самоцентрирующихся горизонтальных тянущих роликов с гидравлическим приводом (каждый блок состоит из четырех роликов) смонтированы на раме основания для выполнения подачи материала в полировальный блок.

Первый комплект шлифовальных лент устанавливали в три планетарные ленточно-шлифовальные головы станка ВТ-8 «Hetran» в следующем порядке:

1-я шлифовальная голова – 1/P80 зерно оксид алюминия + керамика;

2-я шлифовальная голова – 1/P120 зерно оксид алюминия + керамика;

3-я шлифовальная голова – 1/P320 зерно оксид алюминия + керамика.

Следующий испытываемый комплект (2-я кампания) устанавливали в следующем порядке:

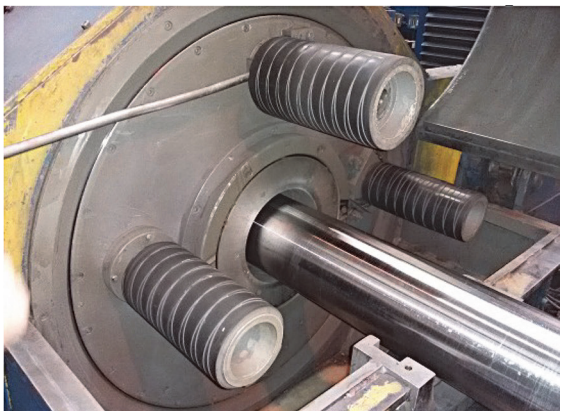


Рис. 5. Планетарный шлифовальный блок

* Обзор // Шлифовальные ленты // Как правильно выбрать // [электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.gtool.ru/testy/shlifovalnye-lenty-kak-pravilno-vybrat/

1-я шлифовальная голова – 2/Р80 керамическое зерно;

2-я шлифовальная голова – 2/Р120 керамическое зерно;

3-я шлифовальная голова – 2/Р180 компактное зерно (карбид кремния).

При обработке опытными шлифовальными лентами производили интенсивное охлаждение зоны шлифовки смазочно-охлаждающей жидкостью. В табл. 1 приведены технические характеристики испытываемых лент, а в табл. 2 – технические характеристики промышленно-применяемых шлифовальных лент.

Таблица 1. **Технические характеристики шлифовальных лент**

Наименование лент	1/Р80	1/Р120	1/Р320	2/Р80	2/Р120	2/Р180
	1-я кампания			2-я кампания		
Зерно	Оксид алюминия + керамика	Оксид алюминия + керамика	Оксид алюминия + керамика	Керамическое зерно	Керамическое зерно	Компактное зерно (карбид кремния)
Зернистость	80	120	320	80	120	180
Основа	Полиэстер	Полиэстер	Полужесткий полиэстер	Жесткий полиэстер	Жесткий полиэстер	Полужесткий полиэстер
Связка	Синтетическая смола	Синтетическая смола	Синтетическая смола	Синтетическая смола	Синтетическая смола	Синтетическая смола

Таблица 2. **Технические характеристики промышленно-применяемых шлифовальных лент**

Наименование лент	0/Р80	0/Р120	0/Р180
	Промышленно-применяемые		
Зерно	Оксид алюминия	Оксид алюминия	Оксид алюминия
Зернистость	80	120	180
Основа	Жесткий полиэстер	Жесткий полиэстер	Жесткий полиэстер
Связка	Синтетическая смола	Синтетическая смола	Синтетическая смола

В процессе проведения испытаний двух кампаний проводили контроль расхода шлифовальных лент (табл. 3).

Таблица 3. **Расход опытных шлифовальных лент**

Месяц проведения испытаний	Наименование материала	Количество лент, шт.	Количество обработанных оправок
Май/июнь	1/Р80	30	110
	1/Р120	40	110
	1/Р320	4	25
Июль-август	2/Р80	30	126
	2/Р120	32	103
	2/Р180	20	126

В табл. 4 приведен расход промышленно-применяемых лент за февраль.

Таблица 4. **Расход промышленно-применяемых шлифовальных лент**

Месяц проведения испытаний	Наименование материала	Количество лент, шт.	Количество обработанных оправок
Январь /февраль	0/Р80	90	145
	0/Р120	151	145
	0/Р180	83	145

Шлифовальными лентами 1/Р80 и 1/Р120 в количестве 70 шт. было обработано 110 оправок, лентами 1/Р320 в количестве 4 шт. – 25 оправок. Использование шлифовальных лент 1/Р320 с зерном из карбида кремния на финишной обработке обеспечило шероховатость 0,4–0,7 R_a при требовании 0,8 R_a.

Шлифовальными лентами 2/Р80,2/Р120 и 2/Р180 в количестве 90 шт. было обработано 126 оправок. Использование шлифовальных лент с зерном из карбида кремния на финишной обработке обеспечивает шероховатость 0,2–0,6 R_a при требовании 0,8 R_a.

Лентами 0/Р80, 0/Р120 и 0/Р180 в количестве 324 шт. было обработано 145 оправок, в процессе шлифовки требовалось проводить повторное шлифование ввиду не попадания в заданные параметры шеро-

ховатости. Шлифовальные ленты с зерном из оксида алюминия на конечной обработке обеспечивали шероховатость 0,2–0,6 R_a при требовании 0,8 R_a.

Стойкость шлифовальных лент опытных и промышленно-применяемых кампаний приведена в табл. 5, 6.

Таблица 5. **Стойкость опытных шлифовальных лент на одну оправку по кампаниям**

Зернистость ленты	Наименование материала	Стойкость, лент шт./оправка
Р 80	1/Р80	0,27
Р 120	1/Р120	0,36
Р 320	1/Р320	0,16
Р 80	2/Р80	0,24
Р 120	2/Р120	0,32
Р 180	2/Р180	0,16

Таблица 6. **Стойкость промышленно-применяемых шлифовальных лент на одну оправку**

Зернистость ленты	Наименование материала	Стойкость, лент шт./оправка
Р 80	1/Р80	0,62
Р 120	1/Р120	1,04
Р 180	1/Р180	0,57

В ходе проведенной работы были получены положительные результаты использования шлифовальных лент 1/Р80, 1/Р120, 1/Р320 (кампания 1) и шлифовальных лент 2/Р80, 2/Р120 и 2/ Р180 (кампания 2). Испытания показали, что стойкость лент кампании 1 с абразивом зерна из оксида алюминия и керамики в 2 раза выше, а с абразивом из керамики и карбидом кремния в 2–3 раза выше стойкости промышленно-применяемых лент (с абразивным зерном из оксида алюминия).

Использование комплекта шлифовальных лент с различным зерном при бесцентровом шлифовании позволяет значительно увеличить стойкость инструмента, снизить простои оборудования. Ленты с керамическим зерном позволяют получать постоянное качество обработки на протяжении всего срока службы.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Щеглов А. Г.** Технология восстановления раскатных оправок непрерывного стана PQF в трубном цехе ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» // Литье и металлургия. 2013. № 2. С. 72–74.

REFERENCES

1. **Shheglov A. G.** Tehnologija vosstanovlenija raskatnyh opravok nepreryvnogo stana PQF v trubnom cehe OAO «BMZ – upravljajushhaja kompanija holdinga «BMK» [Technology of restoration of rolled mandrel of continuous mill PQF in tube-shop of OJSC «BSW – management company of holding «BMC»]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2013, no. 2, pp. 72–74.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 669.714

Поступила 16.05.2018

ПОЛУЧЕНИЕ КАТОДОВ–МИШЕНЕЙ ИЗ СИЛИЦИДОВ ДЛЯ ВАКУУМНЫХ ИОННО–ПЛАЗМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ

И. А. ИВАНОВ, А. Г. СЛУЦКИЙ, В. А. ШЕЙНЕРТ, Э. В. КОВАЛЕВИЧ, В. Н. ХЛЕБЦЕВИЧ,
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65.
E-mail: iivanou@bntu.by

В различных отраслях промышленности широко применяются покрытия на основе силицидов разных металлов с использованием вакуумно-плазменной обработки изделий. Качество таких покрытий определяется степенью химической чистоты катода-мишени, правильным выбором смеси технологических газов, а также величиной ускоряющего потенциала, подаваемого на подложку. Традиционные способы получения многокомпонентных мишеней имеют ряд недостатков, таких, как высокая остаточная пористость, избыточное содержание примесей, а также необходимость использования дорогостоящего оборудования.

Перспективным является использование литейных технологий в процессе производства катодов-мишеней. В работе представлены обобщенные результаты экспериментальных исследований особенностей изготовления катодов-мишеней для вакуумных ионно-плазменных источников методами восстановительной и высокоскоростной индукционной плавки. В качестве материала использовали силициды титана, меди и никеля.

Ключевые слова. *Комплексные силициды, восстановительная и индукционная плавка, литые катоды-мишени, макро- и микроструктура.*

Для цитирования. *Иванов И. А. Получение катодов-мишеней из силицидов для вакуумных ионно-плазменных источников / И. А. Иванов, А. Г. Слуцкий, В. А. Шейнерт, Э. В. Ковалевич, В. Н. Хлебцевич // Литье и металлургия. 2018. Т. 91. № 2. С. 99–102.*

OBTAINING A CATHODE TARGET OF SILICIDES FOR VACUUM ION–PLASMA SOURCES

I. A. IVANOV, A. G. SLUTSKY, V. A. SHEINERT, E. V. KOVALEVICH, V. N. KHLEBTSEVICH,
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave.
E-mail: iivanou@bntu.by

The coatings based on silicides of various metals are widely used in various industries by vacuum-plasma processes for products treatment. The quality of such coatings is determined by the degree of chemical purity of the target cathode, the correct choice of a mixture of process gases and the level of accelerating potential supplied to the substrate. Traditional methods for producing multi-component targets have a number of disadvantages, such as: high residual porosity, excess content of impurities, as well as the need for expensive equipment.

The use of casting technologies in the production of target cathodes is promising. The paper presents the generalized results of experimental studies of manufacturing target cathodes for vacuum ion-plasma sources by methods of reduction and high-speed induction melting. Silicides of titanium, copper and nickel were used as the material.

Keywords. *Complex silicides, reduction and induction melting, cast cathodes-targets, macro- and microstructure.*

For citation. *Ivanov I. A., Slutsky A. G., Sheinert V. A., Kovalevich E. V., Khlebtsevich V. N. Obtaining a cathode target of silicides for vacuum ion-plasma sources. Foundry production and metallurgy, 2018, vol. 91, no. 2, pp. 99–102.*

Вакуумная ионно-плазменная обработка изделий с формированием на их поверхности защитных слоев широко используется для придания поверхности из этих материалов специальных свойств. В производстве широко применяются покрытия на основе силицидов титана, меди, никеля и других элементов. Использование таких соединений обусловлено их специальными свойствами (высокие температуры плавления, твердость, жаропрочность, износо- и коррозионная стойкость).

Процесс вакуумного ионно-плазменного формирования покрытий на основе силицидов достаточно прост в реализации и хорошо изучен. Качество таких покрытий определяется степенью химической чи-

а *б* *в*

Рис. 1. Этапы получения катода-мишени из силицида никеля с титаном: *а* – металлотермическое восстановление; *б* – слиток силицида; *в* – катод-мишень на медном тоководе

стоты катода-мишени, правильным выбором смеси технологических газов, а также величиной ускоряющего потенциала, подаваемого на подложку [1].

Наиболее ранние из известных работ были направлены на разработку технологии получения катодов с максимально возможным содержанием в них кремния [1]. Анализ равновесных диаграмм состояний сплавов системы кремний-переходный металл IV и VI групп показал, что более всего для решения этой задачи подходят сплавы с содержанием кремния > 66 ат.%. Покрытия, получаемые из таких катодов, обладают высокой твердостью, значительно повышают жаростойкость и коррозионную стойкость сталей и титановых сплавов, но не обладают эрозионной и противоударной стойкостью. В то же время анализ научной литературы показывает, что наибольшей твердостью в сочетании с высоким сопротивлением пластическим деформациям обладают покрытия Ti-Si-N с содержанием кремния около 8–12 ат.% [2]. Весьма эффективны для создания таких поверхностных слоев вакуумные ионно-плазменные технологии и, в частности, катодное распыление в разряде постоянного тока и высокочастотном разряде. При катодном распылении в магнетронных распылительных системах высокая эффективность ионизации атомов и молекул рабочих газов и распыляемых мишеней увеличивает скорость нанесения покрытий. Традиционные способы получения многокомпонентных мишеней характеризуются рядом серьезных недостатков, таких, как высокая остаточная пористость, избыточное содержание примесей, необходимость использования в ряде случаев дорогого и сложного оборудования.

В работе представлены результаты исследований процесса получения катодов-мишеней из силицидов методами литейных технологий, в том числе самораспространяющимся высокотемпературным синтезом, а также высокоскоростной индукционной плавкой.

Выполненные авторами ранее термодинамические расчеты показали возможность получения силицидов на основе меди, титана и никеля методом металлотермического восстановления компонентов [3]. В лабораторных условиях проведены исследования процесса высокотемпературного синтеза силицида титана с никелем. В состав смеси входили порошки оксида никеля и титана, а также измельченная лигатура силикокальция. В качестве восстановителя использовали порошок алюминия. Применение силикокальция позволяло не только обеспечить в силициде необходимое количество кремния, но и дополнительно интенсифицировать процесс восстановления никеля и титана.

Исследования элементного состава опытного образца силицида системы титан-кремний-никель, выполненные на микрорентгеноспектральном анализаторе «INCA 350» фирмы «OxfordInstruments» (Англия), показали, что полученный материал содержит наряду с никелем, титаном и кремнием незначительное количество остаточного алюминия (восстановителя).

Химический анализ шлака показал наличие в нем значительного количества кальция (9%), что свидетельствует о его высокой восстановительной способности. В составе шлака также обнаружено порядка 10% невосстановленного титана. Что касается никеля и кремния, то данные элементы не содержатся в шлаковой фазе, так как они практически полностью перешли в слиток силицида. С учетом выявленных особенностей процесса плавки силицида была проведена корректировка состава восстановительной смеси, в том числе по титану, и изготовлен по специальной методике опытный образец катода-мишени на медном тоководе (рис. 1).

На следующем этапе были проведены экспериментальные исследования процесса получения различных силицидов методом высокоскоростной индукционной плавки, принципиальная схема которой представлена на рис. 2.

По разработанной методике были выплавлены различные по составу силициды с использованием чистых шихтовых материалов [4]. На полученных образцах проведены исследования химического состава и микротвердости структурных составляющих, результаты которых даны в таблице.

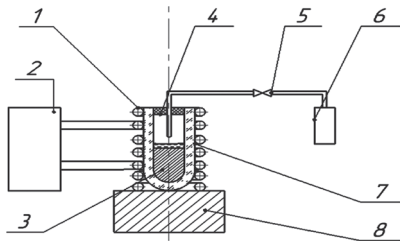


Рис. 2. Методика индукционной плавки силицидов: *1* – индуктор; *2* – преобразователь; *3* – жидкий расплав; *4* – огнеупорная пробка; *5* – кран; *6* – баллон с аргоном; *7* – тигель; *8* – подставка

кремний-медь кремний- медь-титан кремний-никель-титан

Рис. 3. Макроструктура опытных образцов силицидов

Таблица

Номер опыта	Тип силицида	Металлургический выход,%	Расчетный химический состав,%				Микротвердость, МПа
			медь	никель	титан	кремний	
1	Cu-Si	96	80	–	–	20	458–802
2	Cu-Ti-Si	98	43	–	43	14	772–1600
3	Ni- Ti-Si	97	–	43	43	14	515–1200

При плавке силицидов достигнут достаточно высокий металлургический выход (96–98%). Макроструктура полученных слитков однородная, при этом в его верхней части силицида на основе никеля и титана образовалась сосредоточенная усадочная раковина (рис. 3).

На рис. 4 показаны микроструктуры различных силицидов.

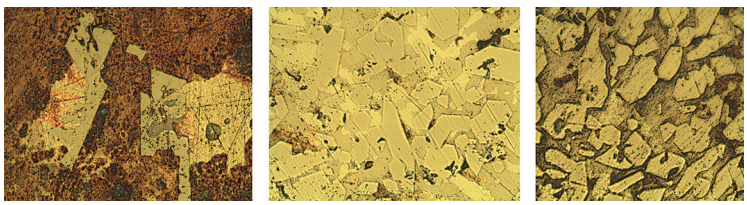
Установлено, что в силициде меди микротвердость изменяется от 458 до 802 МПа, а в комплексном силициде титана с медью твердость структурных составляющих оказалась выше: от 772 до 1600 МПа.

Разброс значений микротвердости силицида на основе никеля и титана составил 515–1220 МПа.

Катоды-мишени, используемые в вакуумных электродуговых испарительных устройствах, являются съемными и водоохлаждаемыми и состоят обычно из двух частей: рабочей части, которая испаряется дугой, и токовода, обеспечивающего крепление катода в испарителе и его быструю замену (рис. 5).

Конструкция токовода обеспечивает электрический контакт с испаряемой частью катода-мишени, позволяет надежно крепить данную конструкцию в вакуумной камере и препятствует попаданию в нее воды в случае пористой структуры материала.

С учетом этих особенностей и применительно к конкретной установке по напылению разработан вариант изготовления катодов-мишеней. Для нанесения покрытий на вакуумно-электродуговой испарительной установке УВН 70 Union магнетронного типа применяются катоды-мишени, размеры которого

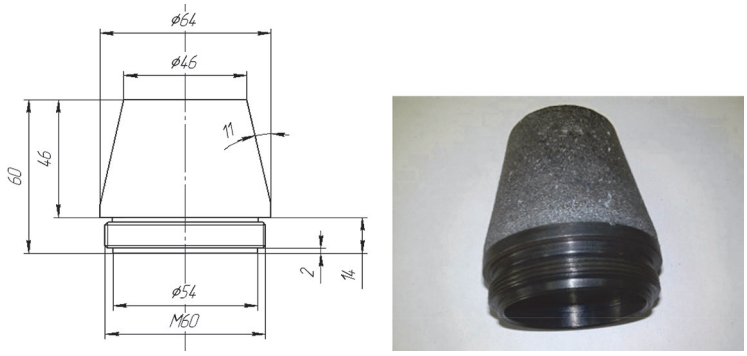


медь-кремний медь-кремний-титан никель-кремний-титан

Рис. 4. Микроструктура опытных образцов силицидов. х500

а *б*

Рис. 5. Общий вид токовода (*а*) и катода- мишени после эксплуатации (*б*)



а *б*

Рис. 6. Эскиз (*а*) и опытный образец катода-мишени (*б*)

приведены на рис. 6, *а*. При этом в нижней части катода располагается токовод из стали либо меди, на которой предусматривается резьба для его надежного крепления в вакуумной камере. Применительно к данным геометрическим размерам катода-мишени разработан вариант его получения из силицидов методом литейной технологии.

На рис. 6, *б* представлена фотография опытного образца катода-мишени из силицида для установки УВН 70 Union.

В дальнейшем планируется проведение лабораторных испытаний эффективности нанесения покрытий на конкретных деталях.

Проведенные исследования показали возможность получения катодов-мишеней для вакуумных ионно-плазменных источников из различных силицидов методом литейных технологий с высоким металлургическим выходом.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Мрочек Ж. А.** Плазменно-вакуумные покрытия / Ж. А. Мрочек, А. К. Вершина, С. А. Иващенко, И. А. Иванов. Мн.: УП «Технопринт», 2004. 369 с.

2. **Электронный** ресурс: http:/www/researchgate.net/publication/242233096/

3. **Иванов И. А.** Исследование процесса получения сплавов металл-кремний для изготовления катодов-мишеней / И. А. Иванов, Э. В. Ковалевич, А. Г. Слуцкий, В. А. Шейнерт, И. Л. Кулинич // Материалы XI Междунар. науч.-техн. конф. «Современные методы и технологии создания и обработки материалов». Минск 14–16 сентября 2016 г. ФТИ НАН Беларуси. Минск, 2016.

4. **Иванов И. А.** Особенности получения силицидов для изготовления катодов-мишеней / А. И. Иванов, А. Г. Слуцкий, В. А. Шейнерт, Э. В. Ковалевич, И. Л. Кулинич // Металлургия: Республ. межвед. сб. науч. тр. Минск: БНТУ, 2016. Вып. 37. С. 98–103.

REFERENCES

1. **Mrochek Zh. A., Vershina A. K., Ivashhenko S. A., Ivanov I. A.** *Plazmenno-vakuumnye pokrytija* [Plasma Vacuum Coatings]. Minsk, UP «Tehnoprint» Publ., 2004, 369 p.

2. **http**:/www/researchgate. net/publication/242233096/

3. **Ivanov I. A., Kovalevich Je. V., Slutsky A. G., Sheinert V. A., Kulinich V. A.** Issledovanie processa poluchenija splavov metall-kremnij dlja izgotovlenija katodov-mishenej [Investigation of the process of obtaining metal-silicon alloys for the production of target cathodes]. Materialy HI Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoj konferencii «Sovremennye metody i tehnologii sozdanija i obrabotki materialov», 14–16 sentjabrja 2016 g., Minsk [Materials of the XI International Scientific and Technical Conference «Modern methods and technologies for the creation and processing of materials», September 14–16, 2016, Minsk]. FTI NAN Belarusi Publ., Minsk, 2016.

4. **Ivanov I. A., Slutsky A. G., Sheinert V. A., Kovalevich Je. V., Kulinich I. L.** Osobennosti poluchenija silicidov dlja izgotovlenija katodov-mishenej [Features of obtaining silicides for the production of target cathodes]. *Metallurgija: Respublikanskij mezhvedomstvennyj sbornik nauchnyh trudov = Metallurgy: Republican interdepartmental collection of scientific works*, Minsk, BNTU Publ, 2016, Vyp. 37, pp. 98–103.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.785

Поступила 18.04.2018

СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОТЛИВОК ИЗ ВЫСОКОХРОМИСТОЙ СТАЛИ 20Х15Г3, ПОЛУЧЕННЫХ ПО ТЕХНОЛИИ ТОЧНОГО ЛИТЬЯ SOL-GEL В КЕРАМИЧЕСКИЕ ФОРМЫ

В. А. КУКАРЕКО, А. Н. ГРИГОРЧИК, Е. В. АСТРАШАБ, Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь, ул. Академическая, 12. Тел. +375 17 284 24 05,
П. Е. ЛУЩИК, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. Тел. +375 44 734 82 86

Исследованы структура, фазовый состав и триботехнические свойства отливки рабочего колеса нефтяных и центробежных насосов из высокохромистой стали 20Х15Г3, полученной по технологии точного литья. Сделано заключение, что отливка рабочего колеса из высокохромистой стали 20Х15Г3, полученная по технологии точного литья Sol-Gel в керамические формы, имеет повышенные свойства и может служить заменой традиционно используемого материала – чугуна.

Ключевые слова. *Высокохромистая сталь 20Х15Г3, технология Sol-Gel, структура, фазовый состав, триботехнические свойства.*

Для цитирования. *Кукареко В. А. Структурно-фазовое состояние и триботехнические свойства отливок из высокохромистой стали 20Х15Т3, полученных по технологии точного литья Sol-Gel в керамические формы / В. А. Кукареко, А. Н. Григорчик, Е. В. Астрашаб, П. Е. Лущик // Литье и металлургия. 2018. Т. 91. № 2. С. 103–107.*

STRUCTURAL PHASE STATE AND TRIBOTECHNICAL PROPERTIES OF CASTINGS FROM HIGH-CHROME STEEL 20Cr15Mn3, OBTAINED BY TECHNOLOGY OF PRECISION SOL-GEL CASTING IN CERAMIC FORMS

V. A. KUKAREKO, A. N. GRIGORCHIK, E. V. ASTRASHAB, The Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, 12, Akademicheskaya str., Minsk, Belarus. Tel. +375 17 284 24 05,
P. E. LUSHCHIK, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. Tel. +375 44 734 82 86

The structure, phase composition and tribotechnical properties of the impeller casting for oil and centrifugal pumps made from high-chromium steel 20Cr15Mn3, obtained by the technology of precise casting, were studied. It was concluded that impeller casting made from high-chromium steel 20Cr15Mn3, obtained by the technology of exact casting of Sol-Gel in ceramic molds, had improved properties and can serve as a replacement for the traditionally used material – cast iron.

Keywords. *High-chromium steel 20Cr15Mn3, precision sol-gel casting, structure, phase composition, tribotechnical properties.*

For citation. *Kukareko V. A., Grigorchik A. N., Astraschab E. V., Lushchik P. E. Structural phase state and tribotechnical properties of castings from high-chrome steel 20Cr15Mn3, obtained by technology of precision Sol-Gel casting in ceramic forms. Foundry production and metallurgy, 2018, vol. 91, no. 2, pp. 103–107.*

Введение

От рабочих колес центробежных нефтяных и грунтовых насосов зависит их производительность. В свою очередь, достижение высоких рабочих характеристик насосов во многом зависит от способа получения их основной детали – рабочего колеса. Например, при получении рабочего колеса методом механической обработки половинок и последующей их сварки по профилю лопатки насос не выдает требуемой производительности. Это связано с тем, что длительная механическая обработка половинок не обеспечивает гарантированного формирования требуемого профиля лопатки колеса, а сварка не позволяет достичь хорошего результата по герметичности. Кроме того, от рабочего колеса, работающего

в агрессивных условиях, помимо высоких физико-механических свойств, также требуется и повышенная коррозионная стойкость. В связи с указанными выше требованиями, предъявляемыми к колесам центробежных нефтяных и грунтовых насосов, а также с учетом недостатков существующей технологии их получения, целесообразно применять методы литья, которые позволяют формировать фактически готовые изделия из высоколегированных коррозионностойких сталей. Одним из таких методов литья является способ точного литья в керамические формы по технологии золь-гель (Sol-Gel). Вместе с тем, систематизированные данные о структурно-фазовом состоянии и трибомеханических свойствах отливок из высокохромистых сталей, полученных методом точного литья в керамические формы по технологии золь-гель (Sol-Gel), в литературе представлены фрагментарно. Кроме того, представляло интерес провести сопоставление триботехнических свойств отливок из высокохромистых сталей и традиционно используемого материала – чугуна. Таким образом, целью данной работы являлось исследование структурно-фазового состояния и триботехнических свойств отливки рабочего колеса из высокохромистой стали 20Х15Г3, полученной по технологии точного литья в керамические формы.

Материалы и методики испытаний

Проводили исследование структурно-фазового состояния и триботехнических свойств отливки из высокохромистой стали 20Х15Г3, полученной методом точного литья в керамические формы по технологии золь-гель (Sol-Gel). Для исследований из отливки вырезали образцы размерами 20×20×10 и 8×6×5 мм.

Химический анализ образцов отливки осуществляли на приборе Epsilon 1 с методическим программным обеспечением Epsilon 3 компании PANalytical.

Для рентгеноструктурного анализа использовали образцы размером 20×20×10 мм. Перед проведением исследований вырезанные образцы отливки подвергали механической шлифовке с доводкой на наждачной бумаге Р600 (с размером зерна 20–28 мкм). Рентгеновскую съемку осуществляли на дифрактометре ДРОН-3 в монохроматизированном (CoK_α) излучении. Запись дифракционных линий проводили в режиме сканирования. Шаг сканирования – 0,1°, время набора импульсов в точке – 10 с. Расшифровку рентгенограмм выполняли при помощи программного обеспечения Crystallographica Search-Match.

Для определения твердости использовали метод Виккерса. Твердость по Виккерсу определяли на твердомере DuraScan 20 при нагрузках 10 г и 10 кг.

Триботехнические испытания образцов проводили в условиях сухого трения на трибометре АТВП при удельной нагрузке 1,5 МПа. Испытания осуществляли по схеме возвратно-поступательного движения призматического образца (8×6×5 мм) по пластинчатому закаленному контртелу (800 HV10) при средней скорости взаимного перемещения 0,1 м/с.

Триботехнические испытания образцов отливки из высокохромистой стали 20Х15Г3 в условиях граничного трения проводили в среде смазочного материала И-20А на трибометре АТВП при удельных нагрузках 10 и 20 МПа. Контртело из закаленной стали 65Г (700 HV10).

Результаты исследований и их обсуждение

Химический состав отливок из высокохромистой стали 20Х15Г3 и стали 20Х13, полученных по технологии точного литья (Sol-Gel) в керамические формы, приведен в табл. 1.

Таблица 1. **Химический состав образцов отливок из высокохромистых сталей 20Х15Г3 и 20Х13, мас.%**

Сталь	Fe	C	Cr	Ni	Mn	Si	V	Cu	Al	P	S
20Х15Г3	Основа	0,2	15,46	0,49	3,14	0,83	0,03	0,18	0,09	0,14	0,06
20Х13	Основа	0,21	12,31	0,34	0,63	0,61	–	0,16	–	0,19	0,14

Структура отливки из высокохромистой стали включает в себя однороднораспределенные дендриты (рис. 1). Твердость литой стали 20Х15Г3 составляет 425 HV 10.

Рентгеноструктурный анализ образца литой стали показал, что механически шлифованный образец отливки из стали 20Х15Г3 содержит ≈90 об.% γ-Fe (светлые участки на микроструктуре), а также α-Fe и карбид $(Fe, Cr)_7C_3$ (рис. 2, *а*) [1]. Высокое содержание аустенита в стали 20Х15Г3 связано с наличием в химическом составе отливки большого количества марганца, который способствует стабилизации аустенита [2]. В пользу этого вывода свидетельствует тот факт, что отливка из стали 20Х13 (рис. 2, *б*) [3] после точного литья в керамические формы содержит всего ≈10 об.% аустенитной фазы.

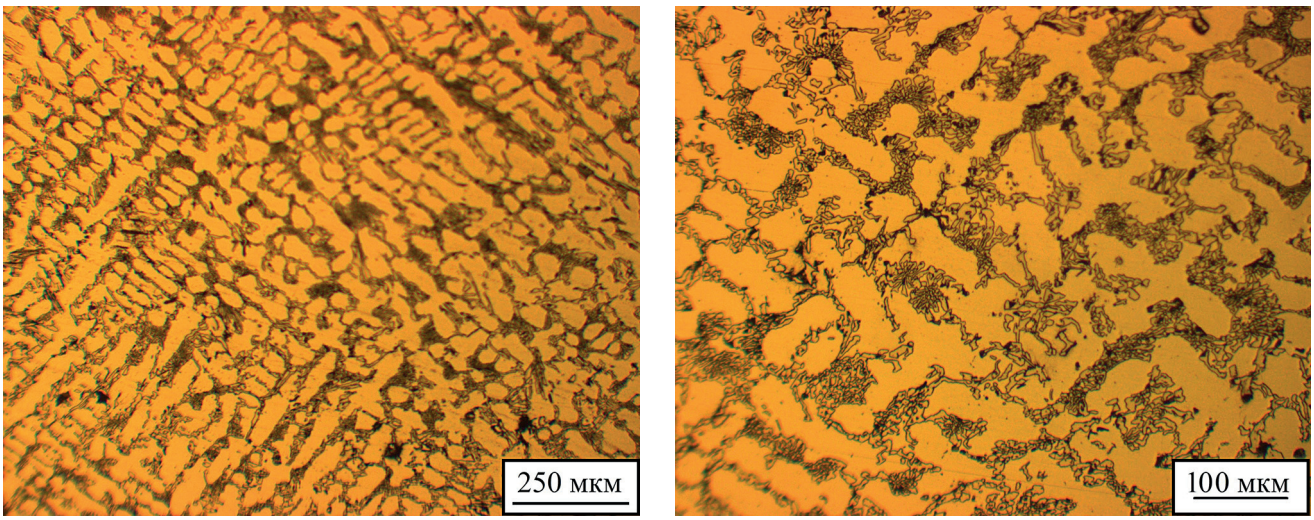
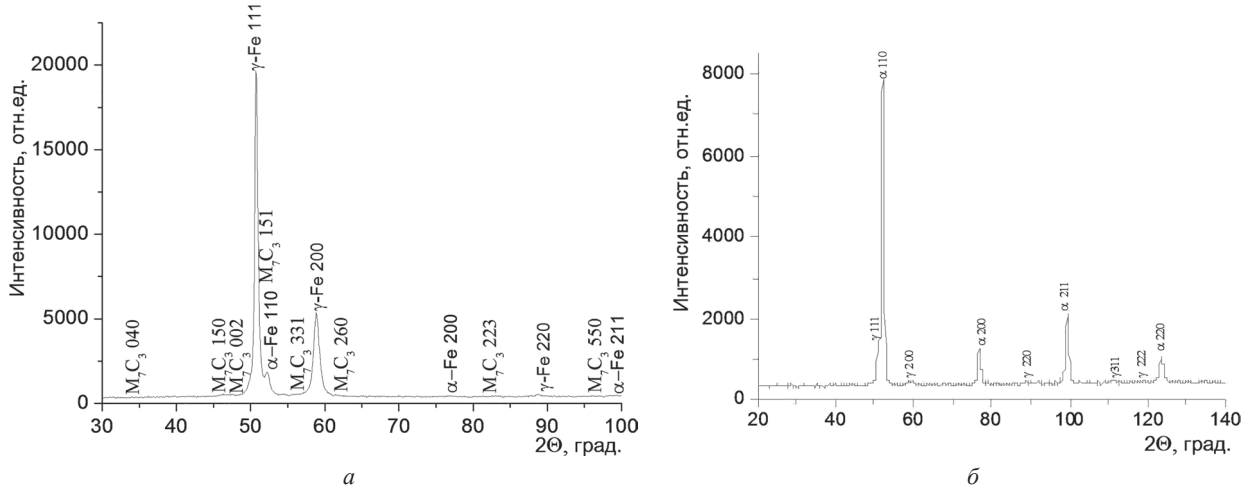


Рис. 1. Микроструктура экспериментальной отливки из высокохромистой стали 20Х15Г3 при различном увеличении



а *б*

Рис. 2. Фрагменты рентгеновских дифрактограмм (CoK_α), полученных от поверхностных слоев образцов, вырезанных из экспериментальных отливок центробежных насосов: *а* – из стали 20Х15Г3; *б* – из стали 20Х13

Триботехнические испытания образцов литой стали 20Х15Г3 проводили в условиях сухого и граничного трения. Результаты триботехнических испытаний образцов отливок из высокохромистых сталей 20Х15Г3 и 20Х13, а также высокопрочного чугуна в условиях сухого трения представлены на рис. 3.

Из рисунка видно, что износостойкость литой стали 20Х15Г3 значительно превышает (≈ в 90 раз) износостойкость литой стали 20Х13, а также ≈ в 15 раз превышает износостойкость высокопрочного чугуна. При этом интенсивность массового изнашивания образца отливки из стали 20Х15Г3 составляет ≈ $0{,}45 \cdot 10^{-3}$ мг/м, литого образца отливки из стали 20Х13 – $40 \cdot 10^{-3}$ и чугуна ≈ $6{,}33 \cdot 10^{-3}$ мг/м (рис. 3).

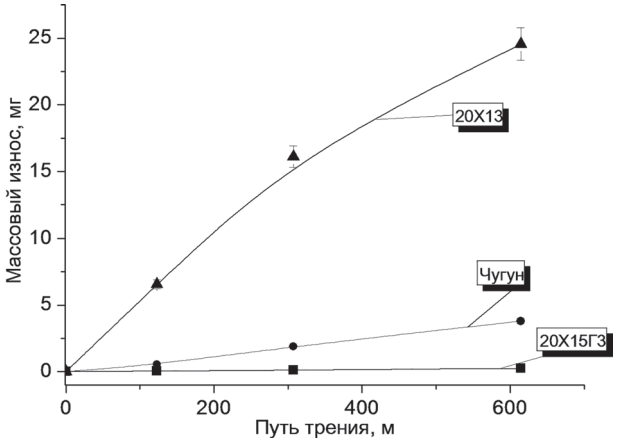


Рис. 3. Зависимость массового износа образцов отливок из высокохромистых сталей и чугуна, полученных методом точного литья, от пути трения (трение без смазочного материала, P = 1,5 МПа)

Повышенное сопротивление изнашиванию литой стали 20Х15Г3 обусловлено протеканием в ее поверхностных слоях деформационно-активированного γ→α-превращения, приводящего к существенному возрастанию износостойкости и микротвердости стали. На рис. 4 показан фрагмент рентгеновской дифрактограммы (CoK_α) от поверхностных слоев образца отливки из высокохромистой стали 20Х15Г3 после триботехнических испытаний без смазочного материала при удельном давлении 1,5 МПа. В частности, содержание аустенитной фазы в поверхностных слоях об-

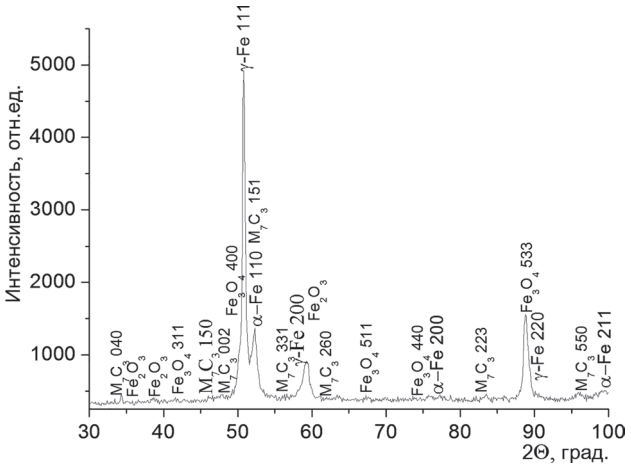


Рис. 4. Фрагмент рентгеновской дифрактограммы (CoK_α) от поверхностных слоев образца отливки из высокохромистой стали 20Х15Г3 после триботехнических испытаний без смазочного материала при удельном давлении испытаний 1,5 МПа

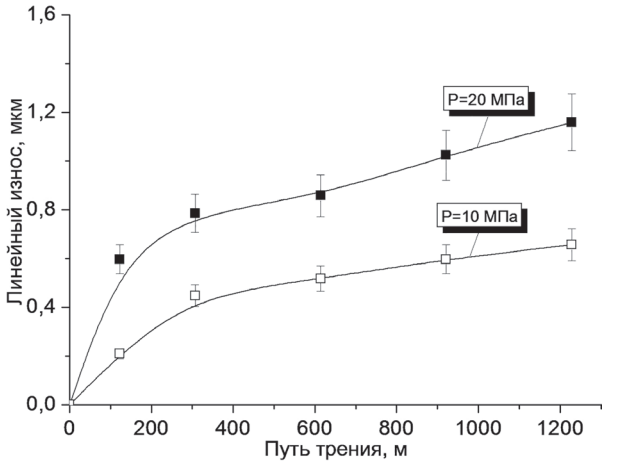


Рис. 5. Зависимость линейного изнашивания образцов литой высокохромистой стали 20Х15Г3, испытанной при различных давлениях (смазочный материал И-20А, P = 10 и 20 МПа)

разца отливки из стали 20Х15Г3 после триботехнических испытаний снизилось ≈ до 60 об.%, а его микротвердость возросла ≈ до 920 HV 0,01.

Триботехнические испытания образцов отливки из стали 20Х15Г3 в условиях граничного трения проводили при нагрузках 10 и 20 МПа в смазочном материале И-20А. Результаты испытаний представлены на рис. 5. Из рисунка видно, что литая сталь 20Х15Г3 в условиях трения со смазочным материалом И-20А при высоких контактных давлениях характеризуется относительно высокой износостойкостью. В частности, интенсивность линейного изнашивания при удельном давлении испытаний 10 МПа составляет $5{,}4 \cdot 10^{-10}$, а при 20 МПа – $9{,}3 \cdot 10^{-10}$ (рис. 5). При этом, как и в случае трения без смазочного материала, в поверхностных слоях образца отливки при трении в смазочном материале протекает деформационно-активированное $\gamma \rightarrow \alpha$-превращение, приводящее к увеличению микротвердости и износостойкости литого материала. В частности, микротведрость поверхностных слоев образцов отливки после испытаний при 10 МПа повысилась до 660 HV 0,01, а после испытаний при 20 МПа – до 780 HV 0,01 (табл. 2).

Таблица 2. **Микротвердость поверхностей трения образцов литой стали 20Х15Г3 после испытаний в смазочном материале И-20А и в условиях сухого трения**

Режим трения	HV 0,01
Граничное трение при 10 МПа	660
Граничное трение при 20 МПа	780
Сухое трение при 1,5 МПа	920

Таким образом, можно сделать вывод, что метод точного литья в керамические формы по технологии Sol-Gel высокохромистой стали 20Х15Г3 позволяет получать ответственные детали центробежных грунтовых и нефтяных насосов, работающих в тяжелонагруженных условиях. В частности, износостойкость отливки рабочего колеса из стали 20Х15Г3 в условиях трения без смазочного материала значительно выше (≈ в 15 раз) традиционно используемого чугуна, при этом благодаря высокому содержанию хрома обладает коррозионной стойкостью в слабо агрессивных средах.

Выводы

Исследованы структура, фазовый состав и триботехнические свойства отливки рабочего колеса нефтяных и грунтовых центробежных насосов из высокохромистой стали 20Х15Г3, полученной по технологии точного литья (Sol-Gel) в керамические формы.

Показано, что механически шлифованный образец отливки из стали 20Х15Г3 содержит γ-Fe (≈90 об.%), α-Fe, а также карбид $(Fe, Cr)_7C_3$.

Установлено, что интенсивность массового изнашивания в условиях трения без смазочного материала образца отливки из стали 20Х15Г3 составляет $0{,}45 \cdot 10^{-3}$ мг/м, что ≈ в 90 раз ниже интенсивности массового изнашивания образца отливки из стали 20Х13 и ≈ в 15 раз ниже интенсивности массового изна-

шивания образца отливки из чугуна. Показано, что в процессе триботехнических испытаний в поверхностных слоях образца отливки из высокохромистой стали 20Х15Г3 протекает деформационно-активированное γ→α-превращение, приводящее к существенному возрастанию его микротвердости и износостойкости. В частности, в результате триботехнических испытаний образца литой стали 20Х15Г3 в условиях трения без смазочного материала содержание аустенита в его поверхностном слое снизилось ≈ от 90 до ≈ 60 об.%, а его микротвердость возросла до значений 920 HV 0,01.

Триботехнические испытания в условиях граничного трения показали, что литая сталь 20Х15Г3 характеризуется относительно высокой износостойкостью. Интенсивность линейного изнашивания при удельном давлении испытаний 10 МПа составляет $5{,}4 \cdot 10^{-10}$, а при 20 МПа – $9{,}3 \cdot 10^{-10}$. Микротвердость образцов литой стали 20Х15Г3 после триботехнических испытаний в условиях граничного трения при удельных давлениях испытаний в 10 и 20 МПа возрастает до 660 и 780 HV 0,01 соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Григорчик А. Н.** Исследование структурно-фазового состояния и твердости отливок из высокохромистой стали, полученной методом литья в керамические формы / А. Н. Григорчик, А. Г. Кононов, А. А. Андриц // Материалы 15-й Междунар. науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов «Наука образованию, производству, экономике». Минск: БНТУ, 2017. Т. 1. 461 с.

2. **Гуляев А. П.** Металловедение. М.: Металлургия, 1986. 544 с.

3. **Григорчик А. Н., Андриц А. А.** Исследование структурно-фазового состояния и трибомеханических свойств отливок из стали 20Х13, полученных методом литья в керамические формы / А. Н. Григорчик, А. А. Андриц // Молодежь в науке - 2016: материалы 13-й Междунар. науч. конф. Минск, 22–25 ноября 2016. С. 287.

REFERENCES

1. **Grigorchik A. N., Kononov A. G., Andrits A. A.** Issledovanie strukturno-fazovogo sostojanija i tverdosti otlivok iz vysokohromistoj stali, poluchennoj metodom lit'ja v keramicheskie formy [Investigation of the structural-phase state and hardness of castings from high-chromium steel obtained by casting into ceramic molds]. *Materialy 15-j Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoj konferencii «Nauka obrazovaniju, proizvodstvu, jekonomike» = Materials of the 15th International Scientific and Technical Conference of the teaching staff, researchers, doctoral and post-graduate students «Science Education, Production, Economics»*. Minsk, BNTU, 2017, vol. 1, 461 p.

2. **Guljaev A. P.** *Metallovedenie* [Metal science]. Moscow, Metallurgija Publ, 1986, 544 p.

3. **Grigorchik A. N., Andrits A. A.** Issledovanie strukturno-fazovogo sostojanija i tribomehanicheskih svojstv otlivok iz stali 20H13, poluchennyh metodom lit'ja v keramicheskie formy [Investigation of the structural-phase state and tribomechanical properties of 20Cr13 steel castings obtained by casting into ceramic molds]. *Molodezh' v nauke – 2016: materialy 13-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii = Youth in Science – 2016: materials of the 13th International Scientific Conference*. Minsk, 2016, 287 p.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.791

Поступила 12.03.2018

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ С УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМИ ЧАСТИЦАМИ В ПОКРЫТИЕ ЭЛЕКТРОДА ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДА

Н. И. УРБАНОВИЧ, В. В. МЕЛЬНИЧЕНКО, К. Э. БАРАНОВСКИЙ, Е. В. РОЗЕНБЕРГ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65.
E-mail: komarov_metolit@tut.by, baranosky_metolit@tut.by, erozenberg@bntu.by,
А. А. РАДЧЕНКО, З. В. ИГНАТОВИЧ, ОХП «Институт сварки и защитных покрытий» НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь, ул. Платонова, 41

Установлено, что введенный в покрытие электрода отсев модификатора позволил измельчить зерно металла шва от 20–60 до 10–30 мкм, изменить его морфологию и улучшить сварочно-технологические свойства покрытого электрода. Показано, что модифицирующая добавка, введенная в покрытие сварочного электрода, содержащая ультрадисперсные частицы, в количестве 1% к массе сухой шихты не ухудшила технологические параметры при их изготовлении, при этом интегральный показатель разнотолщинности ($\Delta e_{ср}$) электродов со стандартным и экспериментальным покрытиями не превысил принятого значения 0,05. Это свидетельствует, что качество обмазочной массы, ее свойства, стабильность течения массы из фильеры удовлетворительны для обеих партий.

Ключевые слова. *Покрытый электрод, модифицирующая добавка, ультрадисперсные частицы, разнотолщинность, металл шва, мелкозернистая структура, сварочно-технологические свойства.*

Для цитирования. *Урбанович, Н. И. Исследование влияния модифицирующей добавки с ультрадисперсными частицами в покрытие электрода для ручной дуговой сварки на технологические параметры изготовления электрода / Н. И. Урбанович, В. В. Мельниченко, К. Э. Барановский, Е. В. Розенберг, А. А. Радченко, З. В. Игнатович // Литье и металлургия. 2018. Т. 91. № 2. С. 108–112.*

STUDY OF THE EFFECT OF MODIFIERS WITH ULTRADISPERSED PARTICLES IN THE COATING OF THE ELECTRODE FOR MANUAL ARC WELDING ON THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS IN MANUFACTURE OF THE ELECTRODE

N. I. URBANOVICH, V. V. MELNICHENKO, K. E. BARANOVSKY, E. V. ROZENBERG, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave.
E-mail: komarov_metolit@tut.by, baranosky_metolit@tut.by, erozenberg@bntu.by,
A. A. RADCHENKO, Z. V. IGNATOVICH, Institute of Welding and Protective Coatings National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, 41, Platonova

It is established that inclusion of the modifier into the electrode coating allowed to change the grains of the weld metal from 20–60 to 10–30 μm, to change its morphology and to improve the welding-technological properties of the coated electrode. It is shown that the modifying additive introduced into the coating of a welding electrode containing ultrafine particles in an amount of 1% of the weight of the dry charge had not deteriorated the technological parameters during manufacture, and the integral index of the different thickness (Δesp) of electrodes with standard and experimental coatings did not add to the accepted value of 0.05. This indicates that the quality of the lubricating mass, its properties, the stability of the mass flow from the spinneret are satisfactory for both batches.

Keywords. *Covered electrode, modifying additive, ultradisperse particles, different thickness, weld metal, fine-grained structure, welding-technological properties.*

For citation. *Urbanovich N. I., Melnichenko V. V., Baranovsky K. E., Rozenberg E. V., Radchenko A. A., Ignatovich Z. V. Foundry production and metallurgy, 2018, vol. 91, no. 2, pp. 108–112.*

На сегодняшний день в сварочной промышленности и строительстве значение ручной дуговой сварки как способа получения неразъемных соединений металлоконструкций не уменьшается. Особенно оно велико при монтаже, реконструкции и ремонте трубопроводов, емкостей и других технических устройств опасных производственных объектов. Высокое качество сварных соединений в таких устройствах достигается, в первую очередь, благодаря использованию качественных сварочных материалов, соответствующих специальным требованиям.

В работах [1–3] показано, что введение модифицирующей добавки, содержащей ультрадисперсные частицы, в сварочную ванну и состав покрытия электродов позволяют улучшить свойства дуги, измельчить зерно в наплавленном металле, а, следовательно, повысить пластические свойства металла шва, а также увеличить производительность процесса сварки.

Процесс изготовления покрытых электродов предусматривает ряд строго последовательных операций по подготовке проволоки, компонентов покрытия, сухой смеси компонентов и обмазочной массы, нанесению ее на стержень с последующей сушкой и прокалкой электродов с целью придания необходимой прочности.

В связи с этим возникла необходимость проверки влияния модифицирующей добавки при вводе ее в состав покрытия на технологические параметры изготовления электродов.

Целью данной работы является исследование влияния модифицирующей добавки, содержащей ультрадисперсные частицы, в покрытии электрода на технологические параметры изготовления электродов для ручной дуговой сварки с улучшенными свойствами.

Согласно ГОСТ 9466-75, качество изготовления покрытых электродов нормируется показателем соосности оболочки покрытия и стержня. Разнотолщинность покрытия препятствует осуществлению нормального процесса сварки и, как следствие, приводит к ухудшению качества и механических свойств сварных швов. Превышение предельно допустимого стандартом отклонения 5% от диаметра стержня вызывает образование одностороннего «козырька», который нарушает газовую и шлаковую защиту расплавленного металла от воздействия воздуха при сварке, что приводит к неблагоприятным изменениям химического состава, ухудшению механических свойств, образованию пор и других дефектов шва [4, 5].

В результате исследований, проведенных рядом авторов [6, 7], выяснено, что на разнотолщинность покрытия электрода влияет множество факторов: вид, доля и зерновой состав составляющих обмазки. Дополнительно отмечено влияние таких технологических параметров процесса изготовления электрода, как давление опрессовки, степень адгезии покрытия к стержню, качество поверхности самих стержней. При сушке электродов происходит усадка обмазочной массы, возможно появление микро- и макротрещин. Состояние оборудования, квалификация и уровень исполнительской дисциплины персонала также вносят значительный вклад в качество конечного продукта.

Процесс изготовления экспериментальных и стандартных электродов состоял из одних и тех же операций, использовалось одно и тоже оборудование, отличался только состав шихты присутствием в сухой смеси отсева модификатора, содержащего щелочноземельные металлы. Добавку модификатора следует рассматривать как один из факторов, который может повлиять на разнотолщинность. В случае существенного влияния данной добавки на изменение разнотолщинности в экспериментальных электродах по сравнению с контрольными электродами возникает необходимость в корректировке и отработке технологических параметров их изготовления.

Нами использовалось одно и тоже оборудование, процесс изготовления экспериментальных и стандартных электродов состоял из одних и тех же операций, изменили только состав шихты, включив в нее модифицирующую добавку в виде отсева модификатора в количестве 1% к общей массе шихты. В состав сухой шихты входили обязательные компоненты для изготовления стандартных электродов марки УОНИ-13/55.

Для приготовления 1 кг обмазочной массы в сухую шихту добавляли натриево-калиевое (70 и 30% соответственно) жидкое стекло. Технологическую готовность обмазочной массы определяли органолептически. Готовую смесь направляли на опрессовку электродов в лабораторном электродообмазочном прессе ПЭО 0030 (ООО «ВЭЛМА»). Электроды изготавливали из сварочной проволоки марки Св-08А диаметром 3 мм. В процессе нанесения покрытия на стержни не наблюдали пульсаций, отжима жидкой фазы. Это показало, что модифицирующая добавка в количестве 1% к стандартной массе шихты не повлияла на стабильность процесса истечения обмазочной массы из головки пресса.

После нанесения покрытия электроды сушили сначала на воздухе при температуре 20–25 °С в течение 24 ч, а затем в электрическом сушильном шкафу при температуре 350 °С в течение 2 ч. В обеих партиях электродов не наблюдали вздутий, пор, макро- и микротрещин в процессе сушки.

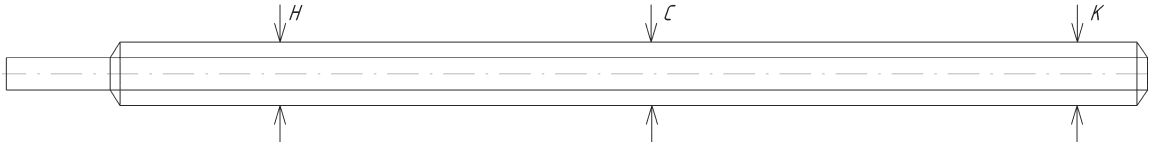


Рис. 1. Схема измерения разнотолщинности по длине электрода: Н, С, К – соответственно начало, середина, конец измерения электрода

Проверку разнотолщинности полученных электродов проводили согласно требованиям ГОСТ 9466-75. Схема замеров приведена на рис. 1, 2.

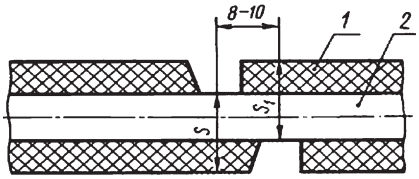


Рис. 2. Схема измерения разнотолщинности в двух противоположных участках согласно ГОСТ 9466-75: *1*, *2* – соответственно покрытие и стержень электрода

Величина эксцентриситета (e, мм) определяется на основании измерений на трех участках, смещенных относительно друг друга на 50–100 мм по длине электрода и повернутых на 120° по окружности.

Измерения на каждом контрольном участке проводили в двух противоположных позициях с точностью до 0, 01 мм. Величина локального эксцентриситета: $e = s - s_1$.

Для оценки качества партии электродов необходимо вычислить общий средний эксцентриситет [8, 9]:

$$\Delta e_{\text{ср}} = \frac{\sum_{n=1}^{n}\left(e^{n}_{\max} - e^{n}_{\min}\right)}{n},$$

где n – количество электродов в выборке.

Значение $\Delta e_{\text{ср}} \le 0{,}05$ свидетельствует о надежном качестве перемешивания и однородности обмазочной массы.

В таблице приведены результаты измерений разнотолщинности электродов.

Показатели разнотолщинности электрода со стандартным и экспериментальным покрытием

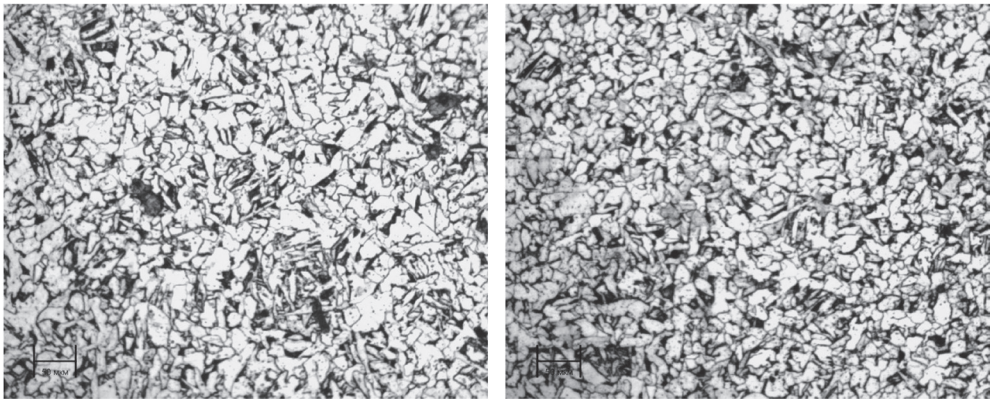
Электроды с контрольным покрытием				Электроды с экспериментальным покрытием			
Н	С	К	Δе	Н	С	К	Δе
0,06	0,08	0,06	0,02	0,10	0,08	0,08	0,02
0,04	0,08	0,06	0,04	0,08	0,08	0,06	0,02
0,04	0,06	0,06	0,02	0,02	0,04	0,04	0,02
0,04	0,04	0,10	0,06	0,06	0,04	0,04	0,02
0,04	0,04	0,04	0	0,04	0,04	0,04	0
0,04	0,02	0,04	0,02	0,04	0,04	0,06	0,02
0,04	0,04	0,08	0,04	0,08	0,10	0,06	0,04
0,06	0,04	0,06	0,02	0,04	0,04	0,04	0
0,04	0,08	0,06	0,04	0,08	0,04	0,04	0,04
0,08	0,04	0,04	0,04	0,06	0,08	0,06	0,02
$\Delta e_{\text{ср}} = 0{,}03$				$\Delta e_{\text{ср}} = 0{,}02$			

Примечание: Н, С, К – точки измерения разнотолщинности покрытия: Н – начало электрода; С – середина электрода; К – конец электрода.

Получено значение $\Delta e_{\text{ср}}$ для стандартного покрытия 0,03 и 0,02 мм для экспериментальной партии электродов. Это значение меньше стандартного допуска 0,05 мм для электродов толщиной 3 мм, что показало возможность использования предлагаемой обмазочной смеси с модифицирующей добавкой, содержащей ультрадисперсные частицы, без ухудшения геометрии электродов.

Для сравнительной оценки сварочно-технологических свойств данных электродов и структуры металла шва получили стыковые сварные соединения пластин из стали 20 толщиной 6 мм с V-й разделкой кромок по ГОСТ 5264-80. Сварку выполняли в два прохода на постоянном токе обратной полярности на режимах: $I_{\text{св}} = 70$–90 А, $U_{\text{д}} = 22$–24 В.

Оценку стабильности горения дуги осуществляли визуально. Наиболее легко возбуждалась и устойчиво горела дуга у электродов с модифицирующей в покрытии добавкой. При сварке данными электродами наблюдалось меньшее количество брызг. Качество шва оценивали по результатам визуального его осмотра поверхности после удаления шлака. Осмотр показал, что во всех случаях швы получились ров-



а *б*

Рис. 3. Микроструктура сварных швов: *а* – без добавки; *б* – с отсевом модификатора

ные, без раковин, мелкочешуйчатые, без наплывов, с хорошей отделяемостью шлаковой корки. Следует отметить, что покрытие электродов во всех случаях плавилось равномерно, без отваливания кусков и образования чехла или козырька.

На рис. 3 представлены микроструктуры корневой части сварных швов, изучение которых осуществляли на оптическом микроскопе ALTAMI. Структура металла сварного шва, полученного электродом без модифицирующей добавки, характеризуется наличием участков с повышенным содержанием таких хрупких составляющих, как блочный феррит и феррит видманштетта. Зерна имеют величину от 20 до 60 мкм. Металл шва, полученный электродом с отсевом модификатора, характеризуется более мелкозернистой структурой, и величина зерна составляет 10–30 мкм.

Таким образом, наличие в составе покрытия электродов для ручной дуговой сварки модифицирующей добавки, содержащей ультрадисперсные частицы, позволило не только повысить их сварочно-технологические свойства, но и изменить морфологию зерна и измельчить структуру металла шва, что должно положительно отразиться на показателях по механическим свойствам.

Выводы

Установлено, что модифицирующая добавка, содержащая ультрадисперсные частицы, введенная в количестве 1% к массе сухой шихты в покрытие электродов марки УОНИ-13/55, не изменила показатели технологических параметров при их изготовлении.

Показано, что интегральный показатель разнотолщинности ($\Delta e_{ср}$) электродов со стандартным и экспериментальным покрытиями не превышает принятого значения 0,05. Если значение $\Delta e_{ср} \leq 0{,}05$, значит, качество обмазочной массы, ее свойства, стабильность течения массы из фильеры удовлетворительны для обеих партий, а это, в свою очередь, свидетельствует о том, что модифицирующая добавка не ухудшила качество обмазочных масс и таким образом качество электродов.

Установлено, что введенный в покрытие электрода отсев модификатора позволил измельчить зерно металла шва от 20–60 до 10–30 мкм, изменить его морфологию и улучшить сварочно-технологические свойства покрытого электрода.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гордин С. О., Смирнов А. Н., Князьков В. Л.** Влияние ультрамелкоразмерных компонентов электродных покрытий на механические свойства металла шва // Вестн. Кузбас. гос. техн. ун-та. 2012. № 6(94). С. 101–104.

2. **Урбанович Н. И., Радченко А. А., Игнатович З. В., Барановский К. Э., Проворова И. Б., Розенберг Е. В.** Оценка влияния модифицирующих добавок в покрытии электродов марки УОНИ-13/55 на глубину проплавления стали марки Ст.3 и микроструктуру наплавленного металла // Республ. межвед. сб. науч. тр. «Металлургия». Минск: БНТУ, 2017. Вып. 38. С. 138–145.

3. **Модифицирование** наплавленного металла нанодисперсными карбидами вольфрама / Г. Н. Соколов, И. В. Лысак, А. С. Трошков и др. // Физика и химия обработки материалов. 2009. № 6. С. 41–47.

4. **Паршин С. Г.** Влияние активирующих флюсов на формирование сварных швов при ручной аргонодуговой сварке // Сварочное производство. 2000. № 10. С. 23–26.

5. **Походня И. К., Макаренко В. Д., Миличенко С. С.** Влияние эксцентричности покрытия на сварочно-технологические свойства электродов и качество наплавленного металла // Автоматическая сварка. 1985. № 11. С. 39–40.

6. **Овчинников В. А., Баженов В. В.** Влияние геометрии электродных покрытий и наличия дефектов в нем на надежность защиты плавящегося металла от воздействия воздуха // Сварочное производство. 1978. № 5. С. 39–40.

7. **Марченко А. Е.** Разнотолщинность покрытия как индикатор состояния процесса и качества изготовления сварочных электродов // Электродное производство на пороге нового тысячелетия: Материалы науч.-техн. семинара (С.-Петербург, 22–26 мая 2000 г). Череповец: Ассоциация «Электрод», 2000. С. 124–125.

8. **Ворновицкий И. Н.** Разнотолщинность покрытия – основной показатель качества электрода // Сварочное производство. 1989. № 4. С. 7–19.

9. **Ворновицкий И. Н.** Практика снижения разнотолщинности покрытия сварочных электродов // Сварщик. 2000. № 19(11). С. 5–9.

REFERENCES

1. **Gordin S. O., Smirnov A. N., Knjaz'kov V. L.** Vlijaja ul'tramelkorazmernyh komponentov jelektrodnyh pokrytij na mehanicheskie svojstva metalla shva [Influencing ultra-fine-sized components of electrode coatings on the mechanical properties of weld metal]. *Vesnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta = Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2012, no. 6(94), pp. 101–104.

2. **Urbanovich N. I., Radchenko A. A., Ignatovich Z. V., Baranovskij K. E., Provorova I. B., Rozenberg E. V.** Ocenka vlijanija modificirujushhih dobavok v pokrytii elektrodov marki UONI-13/55 na glubinu proplavlenija stali marki St.3 i mikrostrukturu naplavlennogo metalla [Evaluation of the influence of modifying additives in the coating of electrodes of the grade UONI-13/55 on the penetration depth of steel grade St.3 and the microstructure of the weld metal]. *Respublikanskiy mezhvedomstvennyy sbornik nauchnyh trudov* «*Metallurgija*» *= Republican interdepartmental collection of scientific works* «*Metallurgy*». Minsk, BNTU Publ., 2017, vyp. 38, pp. 138–145.

3. **Sokolov G. N., Lysak I. V., Troshkov A. S.** i dr. Modificirovanie naplavlennogo metalla nanodispersnymi karbidami vol'frama [Modification of the weld metal by nanodispersed tungsten carbides]. *Fizika i himija obrabotki materialov = Physics and chemistry of material processing*, 2009, no. 6, pp. 41–47.

4. **Parshin S. G.** Vlijanie aktivirujushhih fljusov na formirovanie svarnyh shvov pri ruchnoj argonodugovoj svarke [Influence of activating fluxes on the formation of welded joints with manual argon-arc welding]. *Svarochnoe proizvodstvo = Welding production*, 2000, no. 10, pp. 23–26.

5. **Pohodnja I. K., Makarenko V. D., Milichenko S. S.** Vlijanie jekscentrichnosti pokrytija na svarochno-tehnologicheskie svojstva elektrodov i kachestvo naplavlennogo metalla [The influence of the eccentricity of the coating on the welding-technological properties of electrodes and the quality of the welded metal]. *Avtomaticheskaya svarka = Automatic welding*, 1985, no. 11, pp. 39–40.

6. **Ovchinnikov V. A., Bazhenov V. V.** Vlijanie geometrii jelektrodnyh pokrytij i nalichija defektov v nem na nadezhnost' zashhity plavjashhegosja metalla ot vozdejstvija vozduha [Influence of the geometry of electrode coatings and the presence of defects in it on the reliability of protecting the melting metal from the effects of air]. *Svarochnoe proizvodstvo = Welding production*, 1978, no. 5, pp. 39–40.

7. **Marchenko A. E.** Raznotolshhinnost' pokrytija kak indikator sostojanija processa i kachestva izgotovlenija svarochnyh jelektrodov [Thickness of the coating as an indicator of the state of the process and the quality of manufacturing of welding electrodes]. *Elektrodnoe proizvodstvo na poroge novogo tysjacheletija = Electrode production on the threshold of a new millennium*. Cherepovec, associacija «Elektrod» Publ., 2000, pp. 124–125.

8. **Vornovickij I. N.** Raznotolshhinnost' pokrytija – osnovnoj pokazatel' kachestva jelektroda [Thickness of coating – the main indicator of the quality of the electrode]. *Svarochnoe proizvodstvo = Welding production*, 1989, no. 4, pp. 7–19.

9. **Vornovickij I. N.** Praktika snizhenija raznotolshhinnosti pokrytija svarochnyh jelektrodov [The practice of reducing the thickness of the coating of welding electrodes]. *Svarshhik = Welder*, 2000, no. 19(11), pp. 5–9.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 631.31. 02:669. 14. 018

Поступила 19.02.2018

ФОРМИРОВАНИЕ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ В ДЕТАЛЯХ ИЗ УГЛЕРОДИСТЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

А. А. АНДРУШЕВИЧ, Г. И. АНИСКОВИЧ, П. Л. КАНТОР, Д. В. КУЧУК, Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 99/2. E-mail: andru49@mail.ru

Рассмотрены условия формирования нанокристаллического состояния структуры в углеродистых сталях. Приведены методики проведения исследований и экспериментальные данные о микроструктурном строении упрочненных деталей рабочих органов сельскохозяйственной техники из углеродистых конструкционных сталей пониженной прокаливаемости. Показано, что применение технологии импульсного закалочного охлаждения и низкого отпуска обеспечивают получение стальных изделий с фрагментированной нанокристаллической структурой мартенсита. Фрагментация зерен мартенсита в углеродистых конструкционных сталях при термической обработке деталей существенно повышает их механические характеристики.

Ключевые слова. *Углеродистая сталь, пониженная прокаливаемость, закалка, отпуск, нанокристаллическая структура, мартенсит, водяное охлаждение.*

Для цитирования. *Андрушевич, А. А. Формирование нанокристаллического состояния в деталях из углеродистых конструкционных сталей / А. А. Андрушевич, Г. И. Анискович, П. Л. Кантор, Д. В. Кучук // Литье и металлургия. 2018. Т. 91. № 2. С. 113–118.*

FORMATION OF NANOCRYSTAL STATE IN DETAILS OF CARBON STRUCURAL STEELS

A. A. ANDRUSHEVICH, G. I. ANISKOVICH, P. L. KANTOR, D. V. KUCHUK, Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus, 99/2, Nezavisimosti ave. E-mail: andru49@mail.ru

The conditions of formation of the nanocrystal state of the structure in carbon steels are considered in the article. The methods of research and experimental data on the microstructural structure of the strengthened parts of the working bodies of agricultural machinery made from carbon steels of the lowered hardenability are given. It is shown that pulsed quenching and low tempering provides of steel products with fragmented nanocrystal structure of the martensite. Fragmentation of martensite grains in carbon structural steels during heat treatment of parts significantly increases their mechanical characteristics.

Keywords. *Carbon steel, lowered hardenability, hardening, tempering, nanocrystal structure, martensite, water cooling.*

For citation. *Andrushevich A. A., Aniskovich G. I., Kantor P. L., Kuchuk D. V. Formation of nanocrystal state in details of carbon strucural steels. Foundry production and metallurgy, 2018, vol. 91, no. 2, pp. 113–118.*

Введение

На современном этапе развития материаловедения требуемые конструктивные прочность, надежность, долговечность, износостойкость применяемых конструкционных материалов, в частности сталей, должны достигаться путем целенаправленного формирования в них субмикро- и нанокристаллического состояния структуры [1, 2].

Одним из наиболее перспективных и востребованных подходов в получении новых материалов с уникальным сочетанием их служебных свойств является создание изделий с наноструктурированным объемным строением. Такой подход в производстве стальных деталей недостаточно изучен и по существу находится на начальном этапе освоения. Для его реализации необходимо проведение комплексных исследований, которые должны быть направлены на обоснование и выбор исходной марки стали, разработку технологии термической обработки деталей с формированием объемной нанокристаллической структуры путем фрагментации продуктов фазового превращения и изучение их принципиально новых свойств, присущих наномасштабному уровню структуры.

Из теории сплавов и производственного опыта известны основные методы формирования наиболее благоприятной структуры и обеспечения прочности и надежности получаемых изделий: рациональным легированием, измельчением зерна, пластическим деформированием, улучшением металлургического качества стали и др. [3]. В связи с этим большое значение в использовании конструкционных материалов имеют углеродистые стали пониженной прокаливаемости (ПП), в которых присутствие легирующих элементов сведено к минимуму (в суммарном количестве не более 0,5%), а стоимость невысокая [4]. Замена дорогостоящих легированных сталей является актуальной задачей ресурсосбережения, которая может быть обоснованно решена при повышении прочностных свойств углеродистых конструкционных сталей до уровня легированных. Решение этой технологической задачи связано с созданием в стальном изделии высокой плотности дислокаций (до 10^{12} см$^{-2}$) и получением сверхмелкого зерна с дисперсностью конечной структуры вплоть до наноразмерного или наноструктурного уровня [2, 5, 6]. Это может достигаться при интенсивной термопластической деформации либо прецизионном интенсивном термическом воздействии, причем последнее направление особенно предпочтительно в нынешних условиях ресурсо- и энергосбережения.

Специфика термодинамического состояния наноструктурных материалов, связанная с близостью их термодинамического потенциала Гиббса к нулю и возникновением предпереходных квазиаморфных состояний, приводит, по мнению авторов [7], к известной аномалии поведения относительно параметров уравнения Холла–Петча при размерах нанозерен $d < 30$ нм. Достижение нанокристаллического состояния в сталях в результате мартенситного превращения обусловлено особыми термодинамическими факторами, которые возникают при определенных технологических режимах [5, 8]. Образование мартенсита нананоразмерного уровня возможно при разности свободных энергий аустенита и мартенсита $\Delta G_{об} = 3000$ Дж/моль только при степени переохлаждения порядка 600–650 °С [3]. По своей природе наноструктурные состояния мартенсита являются сильно неравновесными и их формирование и последующее сохранение существенно зависит от кинетических условий воздействия на реальное изделие (сталь).

Действительно, такой мартенсит образуется при интенсивном охлаждении при переохлаждении до температур 80–20 °С и может иметь фрагментированную структуру с высокой плотностью дислокаций [2]. В работе [8] приводятся еще более меньшие ориентировочные размеры мартенситных кристаллов порядка 0,02–0,1мкм (20–100 нм).

В работе [9] показано, что использование воды под регулируемым избыточным давлением позволяет интенсифицировать процесс теплообмена в области мартенситных превращений и управлять превращением переохлажденного аустенита в мартенсит в более узком временном интервале (до 3–5 с).

Формирование ультрадисперсных структур за счет фазового превращения в процессе термической обработки сталей требует прецизионного выбора специальных режимов охлаждения (оптимальные значения температуры охлаждающей среды и повышенная скорость охлаждения), которые традиционными методами закалки (например, погружением в воду) не достижимы.

Проведенными экспериментами по охлаждению стальных образцов потоком жидкости под давлением 0,1–0,5 МПа установлена возможность формирования в них развитой фрагментированной структуры мартенсита (разориентированных микрообластей – *фрагментов* игл мартенсита при мартенситном превращении) в результате интенсивного водяного охлаждения со скоростями закалки выше 10 000 град/с [4].

Целью настоящей работы являлось изучение закономерностей формирования нанокристаллического состояния в деталях из углеродистых конструкционных сталей пониженной прокаливаемости при использовании технологии импульсного закалочного охлаждения (ТИЗОЖ) и низкого отпуска.

Методики проведения исследований

Термическую обработку деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин (лемеха, доски, диски и др.) из углеродистой стали 60ПП выполняли на экспериментальной закалочной установке с различной интенсивностью охлаждения. Детали нагревали до температуры закалки 830 °С. Температуру нагрева контролировали микропроцессорным контроллером «ТЕРМОДАТ-14» с точностью измерения температуры ±2°. Время аустенитизации составляло 10 мин. Охлаждение осуществляли потоком воды при различных значениях давления и расхода, температуре воды в пределах 5–35 °С. Время интенсивного охлаждения составило 0,5–5 с в зависимости от толщины изделия. Низкий отпуск проводили при температуре 180±5 °С.

Исследование микроструктуры проводили на образцах, вырезанных из деталей рабочих органов, после различных режимов термической обработки.

Микроструктуру упрочненного слоя и сердцевины изучали на световом микроскопе «MeF-3» фирмы «Reichert» (Австрия) при увеличении 500. Микроструктуру упрочненных зон дополнительно исследовали на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения «Mira» фирмы «Tescan» (Чехия) при увеличениях 5000, 20 000, 50 000, 80 000 и с использованием детектора Nordlys II EBSD (Oxford Instruments) обратно рассеянных электронов.

Характеристику и балл мартенсита определяли по ГОСТ 8233-56, размеры фрагментов мартенсита – с использованием метода секущих (метод подсчета пересечений границ зерен по ГОСТ 5639-82).

Фазовый состав, количество остаточного аустенита определяли на дифрактометре общего назначения ДРОН-3.0 в CuK монохроматизированном излучении, вторичную монохроматизацию осуществляли пиролитическим графитом с вращением образца в собственной плоскости. Количество остаточного аустенита и мартенсита рассчитывали с помощью программы автоматизированного рентгеновского исследования «WinDif» по отношению интенсивностей линий всех фаз, присутствующих в образце.

Твердость по Роквеллу определяли на твердомере ТК14-250 по ГОСТ 9013-59. Испытания на трехточечный изгиб проводили на универсальной испытательной машине «Инстрон 1195» в соответствии с ГОСТ 473.8-81.

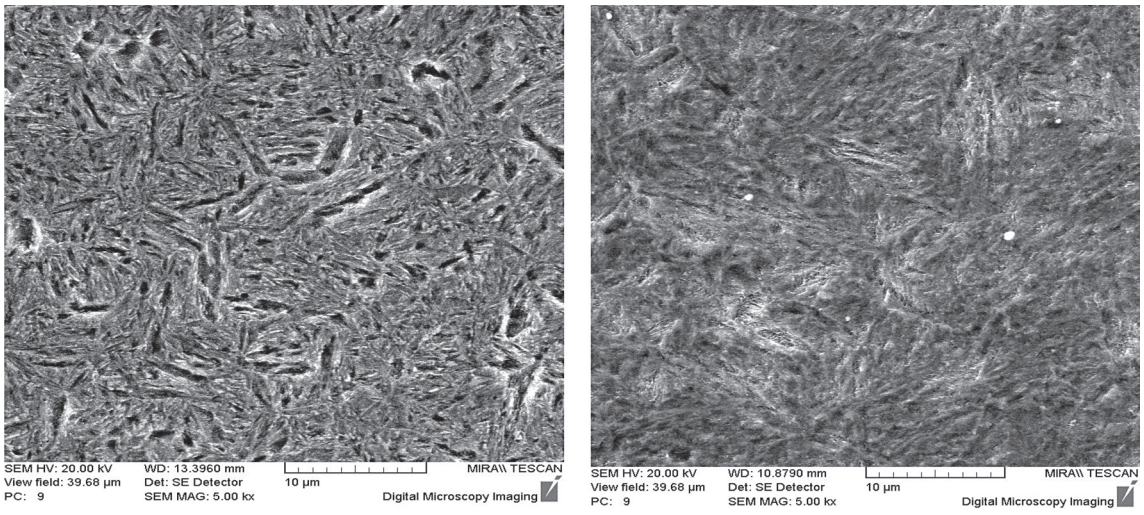
Результаты исследований и их обсуждение

Углеродистая конструкционная сталь 60ПП в состоянии поставки после отжига и механической обработки имеет феррито-перлитную структуру, что не обеспечивает требуемых механических и эксплуатационных свойств изготавливаемых деталей.

Применяемые температурно-временные режимы закалки и последующего отпуска деталей для получения структуры мартенсита отпуска повышенной твердости (60–62 HRC) приводят к высокой хрупкости стальных изделий, снижая их срок службы [6]. При этом образуется типичная структура мартенсита углеродистой закаленной стали, которая имеет характерный мелкоигольчатый вид, свойственный пакетному (реечному) типу при температурах переохлаждения до 240–180 °С. Размер реек – 5–6 мкм (рис. 1, *а*).

При большей степени переохлаждения до температур 150–80 °С образуется мелкоигольчатый мартенсит (максимальная длина игл 3–5 мкм), относящийся к пластинчатому (двойниковому) типу (рис. 1, *б*).

Использование импульсного водяного охлаждения при закалке стали 60ПП со сверхинтенсивным охлаждением при переохлаждении до температур порядка 80–20 °С позволяет сформировать в упрочняемой зоне изделия объемное нанокристаллическое состояние с фрагментацией отдельных зерен мартенсита, выявленное методом электронной микроскопии (рис. 2). На рис. 2, *а*, *б* показаны микроструктуры упрочненного слоя образца при увеличениях 5000, 20 000. Структура упрочненного слоя – весьма мелкоигольчатый мартенсит 2–3-го баллов с небольшим количеством остаточного аустенита. Максимальная длина мартенситных игл – 3 мкм, толщина игл – порядка 0,2–0,3 мкм. Твердость по Роквеллу упрочненного слоя составляет 56–57 HRC.



а *б*

Рис. 1. Микроструктура упрочненного слоя стали 60ПП (х5000) после закалки в воде с последующим низким отпуском: *а* – переохлаждение до 240–180 °С; *б* – переохлаждение до 150–80 °С

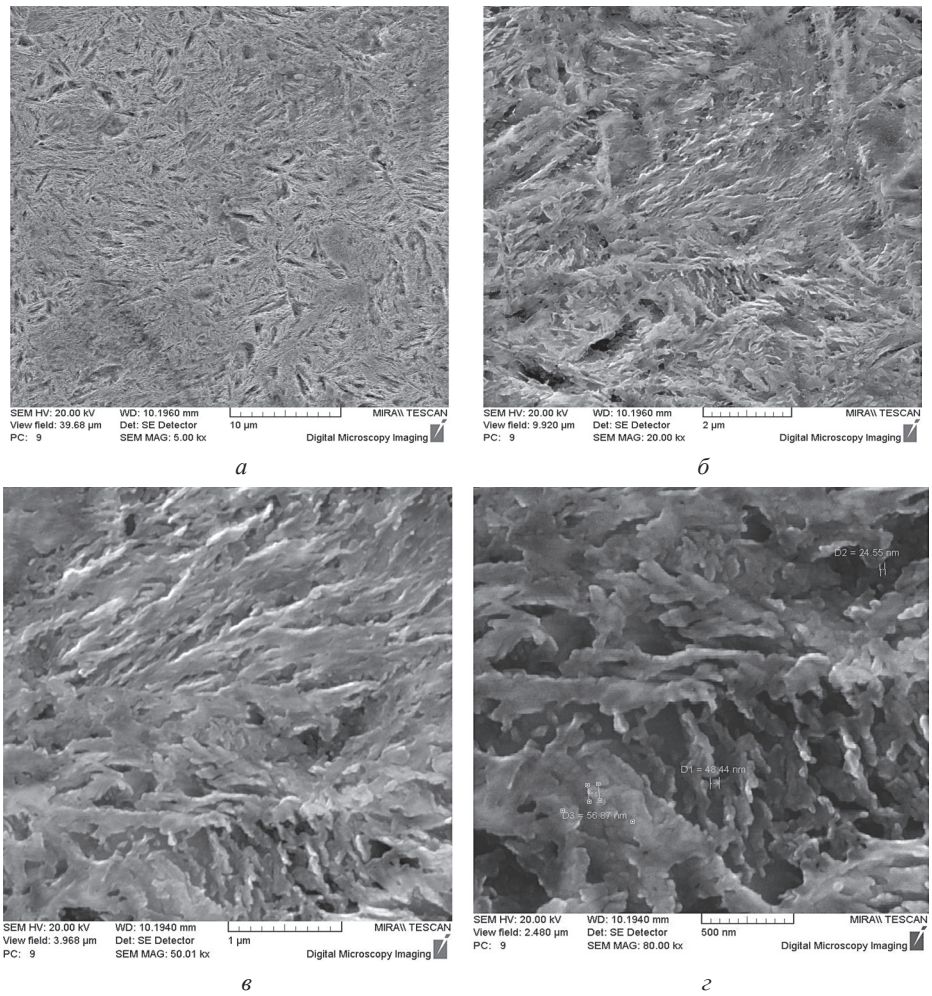


Рис. 2. Микроструктура упрочненного слоя образца стали 60ПП толщиной 8 мм после импульсного закалочного охлаждения водой и низкого отпуска: *а* – х5000; *б* – х20 000; *в* – х50 000; *г* – х80 000

Фрагментация мартенсита выявлена только при увеличениях 50 000 и 80 000 (рис. 2 *в*, *г*). При больших увеличениях видно, что мартенситные иглы частично фрагментированы. Размер фрагментов находится в диапазоне 20–180 нм, средний размер составляет 40–70 нм. На отдельных фрагментах проявляются очертания субмикрозерен. Края мартенситных пластин и фрагментов несколько размыты, что говорит об их частично аморфно-кристаллическом состоянии.

Статистические данные по средней длине фрагментов мартенситных пластин стали 60ПП в результате закалки плоских деталей толщиной 6–12 мм с применением ТИЗОЖ показали, что размер 80% фрагментов находится в диапазоне 0,02–0,08 мкм (табл. 1). После низкого отпуска при 180 °С размеры фрагментов изменяются незначительно, а 60% составляют фрагменты зерен мартенсита размерами 0,02–0,06 мкм.

Таблица 1. **Разбиение на классы по длине фрагментов в мартенситных пластинах детали из стали 60ПП после закалки и низкого отпуска**

Класс	Количество, шт.	Интервал, мкм	Доля по количеству, %	Доля по массе, %
1	0	0–0,02	0	0
2	2	0,02–0,04	3,08	1,14
3	29	0,04–0,06	44,62	30,08
4	26	0,06–0,08	40,0	45,04
5	7	0,08–0,10	10,77	20,88
6	1	0,1–0,12	1,54	2,85

Рентгеноструктурные исследования и расчет параметров тонкой структуры образца толщиной 6 мм в упрочненном слое только после закалки выявили, что плотность дислокаций увеличивается в 1,6 раза от $0{,}780 \cdot 10^{10}$ до $0{,}128 \cdot 10^{11}$ см$^{-2}$ относительно упрочненного слоя образца после закалки и низкого отпу-

ска. Распределение относительной среднеквадратической микродеформации – ОСМД – $<E^2(L_n)>^{1/2}$ – степенное, характеризующееся скоплением дислокаций. Расчет количества остаточного аустенита в образце по рентгенограмме в программе PdfWin показал, что он составляет 6–10%.

Результаты испытаний на трехточечный изгиб образцов стали 60ПП после термического упрочнения по разработанному режиму охлаждения приведены в табл. 2. При изучении механических свойств углеродистой стали в закаленном состоянии и после низкого отпуска установлено, что наноструктурные изменения приводят к значительному увеличению предела прочности на изгиб (в 1,35–1,45 раза). Значения предела прочности на изгиб стали 60ПП при традиционных режимах закалки и отпуска составляют не более 2500–3000 МПа.

Таблица 2. **Результаты испытаний упрочненной стали 60ПП на трехточечный изгиб**

Номер образца	Геометрические размеры сечения образцов		Разрушающая нагрузка, кН	Предел прочности на изгиб, МПа
	толщина, мм	ширина, мм		
04/850/ без отпуска	11,9	7,6	50	3022,5
05/800/ без отпуска	11,9	7,9	50	2796,4
1т/800/+ низкий отпуск	9,8	8,1	50	3803,3
2т/850/+ низкий отпуск	9,5	8,6	50	4433,6

Выводы

1. В углеродистых сталях пониженной прокаливаемости после импульсного закалочного охлаждения с высокой скоростью закалки и низкого отпуска формируется фрагментированная нанокристаллическая структура мартенсита, что позволяет достигнуть оптимального соотношения прочностных и эксплуатационных характеристик деталей.

2. В результате выбранных режимов термической обработки для углеродистой стали 60ПП с применением ТИЗОЖ мелкоигольчатый мартенсит с наибольшей длиной игл 1–3 мкм дробится на отдельные, разориентированные под определенными углами фасетки размерами 20–80 нм внутри пластинок мартенсита. Предел прочности на изгиб возрастает на 35–45% при сохранении заданного уровня твердости, что существенно превосходит аналогичные показатели при обычных режимах закалки и отпуска.

3. Формирование развитой фрагментированной наноструктуры мартенсита в углеродистых конструкционных сталях при термической обработке стальных деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин позволяет существенно повысить их механические характеристики.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Горынин И. В., Рыбин В. В., Хлусова Е. И., Нестеров Е. В., Орлов В. В., Калинин Г. Ю**. Экономнолегированные стали с наномодифицированной структурой для эксплуатации в экстремальных условиях // Вопросы машиностроения. 2008. № 2 (54). С. 7–19.

2. **Рыбин В. В., Малышевский В. А., Хлусова Е. И.** Технологии создания конструкционных наноструктурированных сталей // МИТОМ. 2009. № 6 (643). С. 3–7.

3. **Материаловедение:** учеб. для вузов / Б. А. Арзамасов, В. И. Макарова, Г. Г. Мухин и др. / Под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. 648 с.

4. **Повышение** работоспособности деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин / И. Н. Шило и др. Минск: БГАТУ, 2010. 320 с.

5. **Панин В. Е., Егорушкин В. Е**. Физическая мезомеханика и неравновесная термодинамика как методологическая основа наноматериаловедения // Физическая мезомеханика. 2009. № 124. С. 7–26.

6. **Быков Ю. А.** Структура и свойства конструкционных наноматериалов // Приложение. Справочник. Инженерный журнал. 2010. № 7. С. 2–22.

7. **Панин В. Е., Егорушкин В. Е**. Наноструктурные состояния в твердых телах // Физика металлов и металловедение. 2010. Т. 110. № 5. С. 486–496.

8. **Кащенко М. П., Чащина В. Г.** Динамическая теория γ–α-мартенситного превращения в сплавах железа – решение проблемы критического размера зерна. М.; Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Ижевский ин-т компьютерных исследований, 2010. 132 с.

9. **Кобаско Н. И.** Закалка стали в жидких средах под давлением. Киев: «Наукова думка», 1980, 206 с.

REFERENCES

1. **Gorynin I. V., Rybin V. V., Hlusova E. I., Nesterov E. V., Orlov V. V., Kalinin G. Ju.** Jekonomnolegirovannye stali s nanomodificirovannoj strukturoj dlja jekspluatacii v jekstremal'nyh uslovijah [Economically alloyed steels with nanomodified structure for operation under extreme conditions]. *Voprosy mashinostroenija = Mechanical Engineering*, 2008, no. 2 (54), pp. 7–19.

2. **Rybin V. V., Malyshevskij V. A., Hlusova E. I.** Tehnologii sozdanija konstrukcionnyh nanostrukturirovannyh stalej [Technologies for creating structural nanostructured steels]. *MITOM = MITOM*, 2009, no. 6 (643), pp. 3–7.

3. **Arzamasov B. A., Makarova V. I., Muhin G. G. etc.** *Materialovedenie* [Materials Science]. Moscow, MGTU im. N. Je. Baumana Publ., 2008, 648 p.

4. **Shilo I. N. etc.** *Povyshenie rabotosposobnosti detalej rabochih organov sel'skohozjajstvennyh mashin* [Increase of working capacity of details of working bodies of agricultural machines]. Minsk, BGATU Publ., 2010, 320 p.

5. **Panin V. E., Egorushkin V. E.** Fizicheskaja mezomehanika i neravnovesnaja termodinamika kak metodologicheskaja osnova nanomaterialovedenija [Physical mesomechanics and nonequilibrium thermodynamics as a methodological basis of nanomaterial science]. *Fizicheskaja mezomehanika = Physical mesomechanics*, 2009, no. 124, pp. 7–26.

6. **Bykov Ju. A.** Struktura i svojstva konstrukcionnyh nanomaterialov [Structure and properties of structural nanomaterials]. *Prilozhenie. Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal = Application. Directory. Engineering Journal*, 2010, no. 7, pp. 2 -22.

7. **Panin V. E., Egorushkin V. E.** Nanostrukturnye sostojanija v tverdyh telah [Nanostructural states in solids]. *Fizika metallov i metallovedenie = Physics of metals and metallurgy*, 2010, no. 5, Vol. 110, pp. 486–496.

8. **Kashhenko M. P., Chashhina V. G.** *Dinamicheskaja teorija γ–α martensitnogo prevrashhenija v splavah zheleza – reshenie problemy kriticheskogo razmera zerna* [The dynamic theory of the γ-α martensitic transformation in iron alloys is a solution to the critical grain size problem]. Mosow, Izhevsk, NIC «Reguljarnaja i haoticheskaja dinamika» Publ., 2010, 132 p.

9. **Kobasko N. I.** *Zakalka stali v zhidkih sredah pod davleniem* [Hardening of steel in liquid media under pressure]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1980, 206 p.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.74

Поступила 29.01.2018

НОВЫЕ СОСТАВЫ СТАЛЕЙ ДЛЯ ИНСТРУМЕНТА ХОЛОДНОГО И ГОРЯЧЕГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ УПРОЧНЕНИЯ

В. Н. ФЕДУЛОВ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. Тел. +375 29 63 10 985

Рассмотрены новые составы инструментальных сталей повышенной износостойкости для изготовления инструмента различного назначения. Результаты этой работы могут быть использованы при изготовлении штампов холодного и горячего формообразования и рабочих частей пресс-форм литья алюминиевых и медных сплавов, а также и при изготовлении режущего инструмента для деревообработки и даже пресс-форм при литье пластмасс. При этом следует свой выбор останавливать на любой из сталей в зависимости от назначения и необходимого ресурса работы инструмента.

Ключевые слова. *Новые инструментальные стали, состав, твердость, инструмент для холодного и горячего формообразования, особенности технологии упрочнения для достижения максимального эффекта.*

Для цитирования. *Федулов, В. Н. Новые составы сталей для инструмента холодного и горячего формообразования и возможности их упрочнения / В. Н. Федулов // Литье и металлургия. 2018. Т. 91. № 2. С. 119–123.*

NEW COMPOSITIONS OF TOOL STEELS FOR COLD AND HOT FORMING AND THEIR HARDENING CAPABILITIES

V. N. FEDULOV, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. Tel. +375 29 63 10 985

New compositions of tool steels of increased wear resistance for manufacturing tools of various purposes are considered. The results of this work can be used in the manufacture of cold and hot forming molds and working parts of die casting molds of aluminum and copper alloys, as well as in the manufacture of cutting tools for woodworking and even for plastics molding. In every case you selection of the steels depends on the purpose of use and the required operational life of the tool.

Keywords. *New tool steels, composition, hardness, tools for cold and hot forming, features of hardening technology for achieving maximum effect.*

For citation. *Fedulov V. N. New steel compositions for cold and hot forming tools and their hardening capabilities. Foundry production and metallurgy, 2018, vol. 91, no. 2, pp. 119–123.*

Решение проблемы повышения стойкости штампов различного назначения и рабочих частей пресс-форм для литья алюминиевых сплавов необходимо связывать с химическим составом применяемых инструментальных сталей, исходным состоянием их структуры в заготовках и режимами термической и химико-термической обработки для создания нужной износостойкости и теплостойкости в каждом из видов инструмента в отдельности, опираясь на требуемое достижение уровня механических свойств и необходимый ресурс их работы [1–6]. Соблюдение условий эксплуатации инструмента, высокая квалификация исполнителя и выполнение профилактических работ во время эксплуатации способствуют повышению времени работы такого вида инструмента.

Цель данной работы – обобщение результатов проведенных ранее исследований по разработке новых составов инструментальных сталей и определения области их использования и возможности упрочнения с применением закалки, охлаждающей среды и определенного режима отпуска, а также указания на проведение наиболее важных технологических подробностей всего цикла термического упрочнения, особенно химико-термической обработки на заключительном этапе.

Марки инструментальных сталей повышенной и высокой теплостойкости для проведения различного вида операций холодной деформации и их химические составы приведены в табл. 1 [7–21]. Остано-

вимся лишь на некоторых наиболее значимых моментах использования этих сталей при изготовлении инструмента. Термическое упрочнение сталей 9Х6НМФСТ, 7Х5МФС и 5Х5Н2МФС производится с использованием закалки от температуры 1000–1100 °С в масле и высокого отпуска при температуре 525–550 °С в течение 2–3 ч. Остальные стали упрочняются с использованием закалки в масле от температуры 900–1000 °С и отпуска при температуре от 150 до 350 °С в течение 2–3 ч. Эти стали не боятся перегрева при нагреве под закалку из-за присутствия в их составе ванадия и других элементов. И только сталь 78ГМФС нагревается при закалке до 850–900 °С и охлаждается по схеме «через воду в масло». Отпуск деталей следует производить сразу после завершения охлаждения после закалки. Для дополнительного упрочнения рабочей поверхности готового инструмента из сталей 9Х6НМФСТ, 7Х5МФС и 5Х5Н2МФС после проведения отпуска и окончательной механической обработки можно выполнять операцию карбонитрирования в обмазке состава № 2 или № 3 (табл. 2) в виде водной суспензии. Эти обмазки на водной основе применяются с нагревом в обычной отпускной или другой электропечи при температуре 520 °С в течение 2–4 ч. При этом толщина слоя обмазки, укладываемой на упрочняемые поверхности, должна быть в пределах 10 мм.

Таблица 1. **Химические составы разработанных инструментальных сталей для проведения операций холодной деформации и деревообработки**

Марка стали	Содержание легирующих элементов, мас.%								Твердость HRC, источник
	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	V	
78ГМФС	0,7–0,85	0,5–0,8	0,3–0,56	–	–	–	0,2–0,5	0,02–0,12	59–63 [7]
78ГМ1ФС	0,76–0,83	0,8–1,2	0,45–0,8	–	–	Al до 0,04	0,75–1,2	0,06–0,12	59–63 [8]
78Х4МФС	0,75–0,85	0,8–1,5	0,6–1,0	3,0–4,5	–	Al до 0,08	0,15–0,2	0,08–0,15	59–63 [9]
6Х3МФС	0,6–0,7	0,8–1,1	0,6–0,9	2,5–3,5	–	–	0,5–0,9	0,1–0,2	59–60 [10]
8ХНМФС	0,85–0,95	0,6–1,2	0,5–0,8	1,4–1,75	0,6–0,9	–	0,15–0,3	0,06–0,15	59–64 [11]
7ХНМФС	0,65–0,75	0,6–0,9	0,5–0,8	0,9–1,45	1,5–1,8	–	0,15–0,3	0,06–0,15	59–61 [12]
78ГМС	0,76–0,85	0,6–0,9	0,5–0,83	–	–	–	0,5–1,0	–	59–62 [13]
9Х6НМФСТ	0,85–0,95	0,4–0,9	0,8–1,2	5,5–6,5	1,2–1,8	Ti до 0,15	0,5–0,8	0,3–0,5	59–61 [14]
6ХВМФС	0,6–0,8	0,5–0,9	0,5–0,8	0,6–1,5	–	0,6–1,8	0,3–1,2	0,15–0,5	59–63 [15, 16]
7Х3ВМФС	0,6–0,85	0,6–1,2	0,5–0,9	2,8–4,5	–	1,1–2,5	0,8–2,0	0,3–0,8	59–63 [17, 18, 19]
7Х2ВФС	0,65–0,75	0,6–0,9	0,15–0,5	1,0–3,0	–	1,5–2,6	–	0,2–0,5	59–63 [20]
7Х5МФС	0,65–0,85	0,6–1,2	0,3–0,9	4,5–5,5	–	–	0,7–1,5	0,3–0,5	59–61 [21]
5Х5Н2МФС	0,5–0,6	До 1,2	До 0,8	4,5–5,5	1,5–3,0	–	до 1,5	до 1,1	59–61, новая марка

Места, неподвергающиеся дополнительному поверхностному упрочнению, и резьбу следует обмазать размоченным в воде до определенной консистенции листовым асбестом для защиты от диффузии азота и углерода. Снятие отработанной обмазки и асбеста производится посредством зачистки металлическим скребком и промывки в теплой воде с использованием ветоши или обычной щетки. Затем просушить детали и произвести в нужной степени полирование упрочненной и нагретой поверхностей инструмента с помощью войлочного круга и прокалибровать резьбовые соединения по мере требования чертежа.

Таблица 2. **Составы обмазки для диффузионного борирования и карбонитрирования поверхности различного инструмента из сложнолегированных теплостойких сталей**

Номер состава обмазки	Состав обмазки	Массовая доля компонентов, %	Источник
1	Карбид бора Фтористый натрий Бентонит Железная окалина Закись меди	65–70 5–6 5–7 10–18 5–8	[31]
2	Калий железистосинеродистый Оксид кремния Хлористый натрий Фтористый кальций	45–55 35–45 4–6 4–6	[32]
3	Калий железистосинеродистый Оксид кремния Хлористый натрий Порошкообразный гипс	50–60 20–38 9–15 3–5	[33]

Окончание табл. 2

Номер состава обмазки	Состав обмазки	Массовая доля компонентов, %	Источник
4	Калий железистосинеродистый	50–60	[5]
	Оксид кремния	23–36	
	Хлористый натрий	5–7	
	Фтористый стронций	5–7	
	Порошкообразный гипс	3–5	

Все инструментальные стали (см. табл. 1) следует использовать для изготовления вырубных, обрубных, гибочных, формующих и других штампов в зависимости от усилий и вида нагружения, материала и толщины исходной заготовки, а также для другого инструмента при выполнении операций холодной обработки металлов и сплавов, в том числе твердых и вязких. Стали 78ГМС, 78ГМФС и 78ГМ1ФС можно использовать также для изготовления резанием сложных изделий из древесины и подобных материалов, а стали 78ГМФС и 78ГМ1ФС дополнительно и для пресс-форм литья пластмасс: они не содержат крупных карбидов из-за отсутствия хрома и очень хорошо полируются.

Для инструментальных сталей, используемых для горячего формообразования (табл. 3), температурный интервал эксплуатации и режимы термического упрочнения необходимо определять по данным [22–30] и уточнять их в каждом конкретном случае изготовления инструмента. При выборе состава инструментальной стали нужно обращать внимание на содержание таких важных для обеспечения теплостойкости элементов, как кремний, хром, никель, вольфрам, молибден и ванадий. Для инструментальных сталей высокой теплостойкости типа 4Х3В4МФС, 4Х2Н2В4МФС, 45ХВ4ФС и 4Н2В4ФС режим нагрева под закалку в масле следует выбирать с использованием предварительного подогрева при температуре 900 °С в течение 0,5 ч в пределах от 1160 до 1200 °С в зависимости от конфигурации инструмента и его назначения (штамп или пресс-форма) с использованием специальных электропечей или соляных и бариевых ванн. Рекомендуемый режим отпуска – нагрев при температуре 650–700 °С в течение 2–3 ч, охлаждение на воздухе.

Таблица 3. **Химический состав разработанных инструментальных сталей для штампов и пресс-форм горячего формообразования или прошивных штампов**

Марка стали	Содержание легирующих элементов в составе стали, мас. %								Источник
	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	V	
4Х3ФВС	0,4–0,5	0,9–1,25	0,15–0,4	2,0–3,5	–	2,5–3,5	–	0,5–1,1	[22]
4Х3В4МФС	0,4–0,52	0,6–1,2	0,3–0,8	2,5–3,5	–	3,2–4,8	1,1–1,5	1,3–1,8	[23]
45ХВ4ФС	0,42–0,55	0,7–1,0	0,15–0,4	1,3–1,75	–	3,5–4,3	–	0,5–0,9	[24]
4Х3ВМФС	0,4–0,55	0,9–1,6	0,5–0,8	2,8–3,5	–	1,1–1,8	1,0–1,3	0,3–0,7	[25]
45ХВМФС	0,42–0,57	1,2–2,0	0,5–0,8	0,85–1,35	–	0,95–1,38	0,65–1,15	0,3–0,5	[26]
45ХВ2М2ФС	0,4–0,55	0,5–1,0	0,4–0,8	1,0–1,75	–	1,5–2,8	1,5–2,2	0,5–0,9	[27]
4Х3НМФС	0,35–0,55	0,4–1,2	0,40,8	2,0–3,5	0,65–1,5	–	0,35–1,2	0,3–0,5	[28]
45ХНМФС	0,43–0,53	0,9–1,2	0,5–0,8	0,9–1,2	1,0–1,5	–	0,6–1,0	0,2–0,3	[29]
4ГМФС	0,35–0,45	1,8–3,0	0,7–1,0	–	–	–	2,0–4,0	0,35–0,5	[30]
4Х5Н2МФС	0,45–0,52	До 1,2	До 0,7	4,5–5,5	2,0–3,0	–	До 1,5	До 1,1	Новая
4Х2Н2В4МФС	0,4–0,5	До 1,2	До 0,8	1,5–2,0	1,5–3,0	До 4,0	До 0,5	До 1,1	Новая
4Н2В4ФС	0,4–0,5	До 1,2	До 0,8	До 0,5	До 2,5	До 4,5	До 0,2	До 1,0	Новая

Для стали 4Х5Н2МФС нагрев под закалку следует производить при температуре 1090–1150 °С (последнее значение рекомендовано при упрочнении матриц и пуансонов пресс-форм) с охлаждением в масле: повышение температуры закалки приводит к увеличению размера аустенитного зерна и снижению пластичности, а отпуск назначать при температуре 600–650 °С в течение 2–3 ч, основываясь на требованиях конструкционной необходимости и состояния структуры стали, так как повышение температуры отпуска ведет к снижению твердости и повышению пластичности из-за коагуляции и изменения химического состава упрочняющих фаз и увеличению толщины границ аустенитного зерна.

После окончательного изготовления инструмента из сталей, приведенных в табл. 3, нужно производить операцию карбонитрирования рабочих поверхностей из обмазки состава № 4 с нанесением слоя водной суспензии толщиной 20 мм из первых четырех компонентов, а затем распылить сверху прокален-

ный порошкообразный гипс для создания на поверхности образовавшегося слоя обмазки твердой корочки с целью повышения активности процесса диффузионного насыщения азотом и углеродом. Температурный режим нагрева при проведении карбонитрирования – 520 °С в течение 4–8 ч.

В случае использования стали 4ГМФС (рекомендуется и для стали 5ХНМ) можно борировать рабочие поверхности инструмента из обмазки состава № 1 (см. табл. 2), нагревая инструмент в окончательно изготовленном виде под закалку при температуре 850 °С в течение до 2 ч и охлаждая затем в масле. Слой обмазки должен быть в пределах 8–10 мм. Отпуск в этом случае можно производить, не удаляя обмазку: ее можно удалить скребком сразу после отпуска. А перед полировкой рабочих поверхностей их необходимо промыть в теплой воде и вытереть ветошью насухо. Неупрочняемые поверхности инструмента можно защитить, как и в случае карбонитрирования, размоченным листовым асбестом.

Выводы

1. Рассмотрены новые составы инструментальных сталей повышенной износостойкости для изготовления инструмента различного назначения. Особое внимание при этом уделено наиболее важным моментам проведения их термического и химико-термического упрочнения.

2. Результаты могут быть использованы при изготовлении штампов холодного и горячего формообразования и рабочих частей пресс-форм литья алюминиевых и медных сплавов, а также при изготовлении режущего инструмента для деревообработки и пресс-форм литья пластмасс. При этом следует выбор стали делать в зависимости от назначения и необходимого ресурса работы инструмента.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Федулов В. Н.** Влияние количественного легирования инструментальных сталей для горячего деформирования на уровень их упрочнения / В. Н. Федулов // Литье и металлургия. 2015. № 3 (80). С. 123–131.
2. **Федулов В. Н.** Пути повышения стойкости высоконагруженного инструмента горячей высадки головок болтов / В. Н. Федулов // Литье и металлургия. 2016. № 1. С. 120–129.
3. **Федулов В. Н.** Влияние условий охлаждения и размера заготовки при литье инструментальной стали на способность к последующему термическому упрочнению поверхности / В. Н. Федулов // Литье и металлургия. 2016. № 3. С. 117–127.
4. **Федулов В. Н.** Оптимизация температурного режима закалки для повышения теплостойкости инструментальной стали 4Х5МФ1С в различных заготовках. Выбор режима закалки стали 4Х5МФ1С для повышения твердости и теплостойкости после отпуска/ В. Н. Федулов // Литье и металлургия. 2017. № 3. С. 70–77.
5. **Обмазка** для диффузионного карбонитрирования стальных изделий. Заявка на изобретение, № а 20160204 от 03.06. 2016 г. В. Н. Федулов. Заявитель – БНТУ. 6 с.
6. **Федулов В. Н.** Повышение стойкости пресс-форм для литья алюминиевых сплавов в процессе эксплуатации/ В. Н. Федулов // Респ. межв. сб. науч. тр. «Металлургия», 2013. Вып. 34. Ч. 1. С. 180–187.
7. **Инструментальная** сталь: пат. 2041968 РФ / В. Н. Федулов и др. / Бюллетень № 24, 2000.
8. **Инструментальная** сталь: пат. 7513 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, В. Е. Ливенцев, 2005.
9. **Инструментальная** сталь: пат. 8647 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, В. Е. Ливенцев, 2006.
10. **Инструментальная** сталь: пат. 10629 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2008.
11. **Инструментальная** сталь: пат. 13783 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2010.
12. **Инструментальная** сталь: пат. 13979 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2011.
13. **Инструментальная** сталь: пат. 14569 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2011.
14. **Инструментальная** сталь: пат. 16385 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, И. О. Сазоненко, 2011.
15. **Инструментальная** сталь: пат. 17307 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, И. О. Сазоненко, 2013.
16. **Инструментальная** сталь: пат. 17527 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, И. О. Сазоненко, 2013.
17. **Инструментальная** сталь: пат. 18639 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, И. О. Сазоненко, 2014.
18. **Инструментальная** сталь: пат. 19743 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2015.
19. **Инструментальная** сталь: пат. 19874 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2016.
20. **Инструментальная** сталь: евразийский пат. 026543 / В. Н. Федулов, 2017.
21. **Инструментальная** сталь: пат. 21358 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2017.
22. **Инструментальная** сталь: пат. 21420 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2017.
23. **Инструментальная** сталь: пат. 20483 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2016.
24. **Инструментальная** сталь: пат. 20262 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2016.
25. **Инструментальная** сталь: пат. 18511 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2014.
26. **Инструментальная** сталь: пат. 18512 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, И. О. Сазоненко, 2014.
27. **Инструментальная** сталь: пат. 17311 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, И. О. Сазоненко, 2013.
28. **Инструментальная** сталь: пат. 12313 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2009.
29. **Инструментальная** сталь: пат. 8655 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2006.
30. **Инструментальная** сталь: пат. 7512 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2005.
31. **Состав** обмазки для устранения поверхностных микродефектов стальных изделий: пат. 8873 Респ. Беларусь / В. Е. Ливенцев, В. Н. Федулов, 2007.
32. **Состав** обмазки для диффузионного карбонитрирования: пат. 15496 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2012.
33. **Состав** обмазки для диффузионного карбонитрирования стальных изделий: пат. 21106 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2017.

REFERENCES

1. **Fedulov V. N.** Vliyanie kolichestvennogo legirovaniya instrumental'nych staley dlya goryachego deformirovaniya na uroven' ich uprochneniya [Influence of quantitative alloying of tool steels for hot deformation on the level of their harden]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2015, no. 3 (80), pp. 123–131.
2. **Fedulov V. N.** Puti povysheniya stoykosti vysokonagruzhennogo instrumenta goryachey vysadki golovok boltov [Ways to increase the durability of a high-loaded tool for hot disembarkation of bolt heads]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2016, no. 1, pp. 120–129.
3. **Fedulov V. N.** Vliyanie usloviy ochlazhdeniya i razmera zagotovki pri lit'e instrumental'noy stali na sposobnost' k posleduyushemu termicheskomu uprochneniyu poverchnosti [Influence of the cooling conditions and the size of the billet in the casting of tool steel on the ability to subsequently harden the surface of the surface]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2016, no. 3, pp. 117–127.
4. **Fedulov V. N.** Optimizaciya temperaturnogo rezhima zakalki dlya povysheniya teplostoykosti instrumental'noy stali 4H5MF1S v razlichnych zagotovkach. Vybor rezhima zakalki stali 4H5MF1S dlya povysheniya tverdosti i teplostoykosti posle otpuska [Optimization of the temperature regime of quenching for increasing the heat resistance of 4Х5МФ1С tool steel in various blanks. Part 2. Choice of quenching of 4Х5МФ1С steel to increase hardness and heat resistance after tempering]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2017, no. 3, pp. 70–77.
5. **Fedulov V. N.** Obmazka dlya diffuzionnogo karbonitrirovaniya stal'nych izdeliy [Coating for diffusion carbonitriding of steel products]. *Zayavka na izobretenie, №a 20160204 ot 03.06.2016 = Application for invention, no. 20160204 of 03.06*, 2016, 6 p.
6. **Fedulov V. N.** Povyshenie stoykosti press-form dlya lit'ya alyuminievych splavov v processe ekspluatacii [Increasing the durability of molds for casting aluminum alloys in the process of operation]. *Respubl. mezhvedomst. sb. nauch. tr. «Metallurgiya» = The Republican interdepartmental collection of scientific works «Metallurgy».* Vyp. 34, 2013, part 1, pp. 180–187.
7. **Fedulov V. N., e. a.** *Instrumental'naya stal'* [Tool steel] Patent RF, no. 2041968, 2000.
8. **Fedulov V. N., Liventsev V. E., e. a.** *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 7513, 2005.
9. **Fedulov V. N., Liventsev V. E., e. a.** *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 8647, 2006.
10. **Fedulov V. N., e. a.** *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 10629, 2008.
11. **Fedulov V. N., e. a.** *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 13783, 2010.
12. **Fedulov V. N., e. a.** *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 13979, 2011.
13. **Fedulov V. N., e. a.** *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 14569, 2011.
14. **Fedulov V. N., Sazonenko I. O., e. a.** *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 16385, 2011.
15. **Felulov V. N., Sazonenko I. O., e. a.** *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 17307, 2013.
16. **Felulov V. N., Sazonenko I. O., e. a.** *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 17527, 2013.
17. **Felulov V. N., Sazonenko I. O., e. a.** *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 18639, 2014.
18. **Fedulov V. N., e. a.** *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 19743, 2015.
19. **Fedulov V. N., e. a.** *Instrumental'naya stal'.* [Tool steel]. Patent BY, no. 19874, 2016.
20. **Fedulov V. N., e. a.** *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Euroasian patent, no. 026543, 2017.
21. **Fedulov V. N., e. a.** *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 21358, 2017.
22. **Fedulov V. N., e. a.** *Instrumental'naya stal'.* [Tool steel]. Patent BY, no. 21420, 2017.
23. **Fedulov V. N., e. a.** *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 20483, 2016.
24. **Fedulov V. N., e. a.** *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 20262, 2016.
25. **Fedulov V. N., e. a.** *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 18511, 2014.
26. **Felulov V. N., Sazonenko I. O., e. a.** *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 18512, 2014.
27. **Felulov V. N., Sazonenko I. O., e. a.** *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 17311, 2013.
28. **Felulov V. N., e. a.** *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 12313, 2009.
29. **Felulov V. N., e. a.** *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 8655, 2006.
30. **Felulov V. N., Liventsev V. E., e. a.** *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 7512, 2005.
31. **Liventsev V. E., Fedulov V. N., e. a.** *Sostav obmazki dlya ustraneniya poverchnostnych mikrodefektov stal'nych izdeliy* [Composition of a coating for the removal of surface microdefects of steel products]. Patent BY, no. 8873, 2007.
32. **Fedulov V. N., e. a.** *Sostav obmazki dlya diffuzionnogo karbonitrirovaniya* [Composition of a coating for diffusion carbonitriding]. Patent BY, no. 15496, 2012.
33. **Fedulov V. N., e. a.** *Sostav obmazki dlya diffuzionnogo karbonitrirovaniya stal'nych izdeliy* [Composition of a coating for the diffusion carbonitriding of steel products]. Patent BY, no. 21106, 2017.

Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «НАУКА И ТЕХНОЛОГИЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЧУГУНА» (НИТМЧ-2018, ОКТЯБРЬ 2018, НАБ. ЧЕЛНЫ)

Уважаемые коллеги!

С 14 по 20 октября 2018 года в НЧИ КФУ состоится международная научно-техническая конференция «НАУКА И ТЕХНОЛОГИЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЧУГУНА»

Цель конференции – объединить и развить усилия специалистов, направленные на решение проблем модифицирования чугуна. Чугун является древнейшим литейным материалом, но до сих пор занимает лидирующее положение среди материалов для литых заготовок машиностроения. Перспективность материала обусловлена тем, что различное модифицирование структуры чугуна позволяет творить в нем все новые и новые уникальные свойства. Однако практика модифицирования опережает теорию, сопровождается рядом проблем, над решением которых трудится все меньше и меньше отечественных ученых. Необходимо собирать и подробно обсуждать последние результаты труда отечественных и мировых ученых по модифицированию чугуна, активно привлекая и вовлекая в обсуждение молодые профессиональные кадры.

Задачи конференции

1. Укрепить и расширить связи между отечественными и зарубежными специалистами по чугунам с особым акцентом на молодые профессиональные кадры.
2. Обобщить современные знания по процессам структурообразования чугунов в жидком и твердом состоянии.
3. Обобщить современные знания по модификаторам чугуна.
4. Проверить результаты решений МНТК «Детали машиностроения из чугуна с вермикулярным графитом. Свойства. Технология. Контроль». Актуализировать состояние вопросов по контролю и модификаторам чугуна.

Секции и основные вопросы конференциии

Перспективные разработки составов, структуры и свойств чугунов.

15 октября.

Диаграммы состояния Fe-C-X.
Чугун с вермикулярным графитом.
Аустенитно-бейнитный чугун.
Аустенитный чугун типа НИРЕЗИСТ.

Перспективные методы и инструменты контроля составов, структуры и свойств чугунов.

15 октября.

Контроль состава чугунов на неотбеленных образцах.
Контроль параметров графита, не нормированный ГОСТ 3443.
Контроль микроструктуры бейнитных чугунов.
Контроль микроструктуры аустенитных чугунов типа НИРЕЗИСТ.

Получение, строение и свойства чугунных расплавов.

16 октября.

Современное состояние и перспектива шихтовых материалов чугунолитейного производства.

Оособенности современной ситуации по выбору плавильных систем для приготовления чугунных расплавов с учетом ситуации на рынке графитированных электродов.

Современное состояние теории жидкого состояния чугунов.

Современные и перспективные методы контроля качества чугунных расплавов.

Перспективные разработки технологий модифицирования чугунов.

Предварительное рафинирование и гомогенизация чугунных расплавов. Особенности российской обработки чугунных расплавов карбонатами ЩЗМ.

17 октября.

Классическое графитизирующее и сфероидизирующее модифицирование чугунных расплавов. Особенности японского, европейского, американского и российского подходов.

18 октября.

Перспективные материалы и технологии изготовления форм для обеспечения требуемой структуры чугунных отливок.

19 октября.

Перспективные CAD/CAE-разработки процессов структурообразования чугунных отливок.

Особенности моделирования структуры чугунных отливок.

Участники конференции

Эксперты и специалисты (порядка 100 чел.)**.** Российские и зарубежные ученые в области материаловедения и литейного производства чугуна. Готовятся доклады по основным вопросам конференции экспертами из России, Европы, Америки и Азии с последующим обсуждением докладов и ответами на вопросы слушателей.

Слушатели (порядка 200 чел.). Действующие и потенциальные производители изделий из чугуна (порядка 100 чел.). Представители высшей школы (порядка 100 чел.).

Ожидаемые результаты конференции

Для повышения эффективности работы конференции планируется за полгода до ее проведения начать размещение в сети *internet* на сайтах *www.kpfu.ru* и *www.modificator.ru* тезисы основных докладов для ознакомления с ними потенциальных слушателей конференции и предварительного уточнения слушателями вопросов к докладчикам. Сборник тезисов докладов конференции планируется издать и раздать всем участникам до начала ее проведения. По итогам обсуждения докладов планируется издать сборник очных и заочных докладов конференции, в котором будут даны ответы на вопросы конференции.

Адрес оргкомитета

423812, пр. Сююмбике, 10А, г. Набережные Челны,
отдел НИД филиала КФУ, naukaksuchelny@mail.ru,
кафедра материалов, технологий и качества, panov.ag@mail.ru.
Связь с оргкомитетом предпочтительнее осуществлять по электронной почте panov.ag@mail.ru.

Место проведения конференции

г. Набережные Челны, Инжиниринговый центр НЧИ(ф) К(П)ФУ.

Программные мероприятия конференции пройдут **с** 1**5 по 19 октября 2018 г.,** день заезда – **14 октября,** день отъезда – **20 октября.** В случае интереса участников конференции будут организованы экскурсии на КАМАЗ и по историческим местам г. Елабуга.

Для очного участия в докладах конференции специалистов необходимо **до 15 мая 2018 г.** прислать информацию о докладе и до **15 августа 2018 г.** согласовать тезисы доклада.

Для заочного участия в докладах конференции специалистов необходимо до **15 мая 2018 г.** прислать информацию о докладе, в том числе согласовать форму доклада (по Skype/видеоролик/видеопрезентация) и **до 15 августа 2018 г.** согласовать тезисы доклада, в случае видеоролика/видеопрезентации – **до 15 сентября 2018 г.** прислать видеодоклад.

Тезисы доклада присылать объемом до 1 страницы формата А4, набранной в текстовом редакторе MS Word, шрифт – Arial, размер шрифта – 12, межстрочный интервал – 1; в заголовке указать инициалы и фамилию авторов, организацию, город, название доклада.

Для очного и заочного участия в конференции слушателей необходимо **до 1 сентября 2018 г.** прислать заявку с иформацией:

- название организации, ее адрес;
- ФИО, ученая степень, ученое звание, должность, контактные телефоны (рабочий, мобильный); электронный адрес и факс участника;
- необходимость бронирования гостиницы;
- необходимость официального приглашения для оформления командировки и визы;
- форма участия очная/заочная;
- название секции, в которой планируется участвовать;
- пожелание на экскурсии на КАМАЗ и по историческим местам г. Елабуга.

Оргвзнос

Оргвзнос включает частичную оплату организационных затрат, издания сборников трудов, услуг связи, аренды техники, кофе-брейков и обедов. Стоимость участия слушателей установлена в зависимости от категории слушателей, формы очная/заочная и количества рабочих дней, в которых они будут принимать участие. Для очного участия представителей производств и средств массовой информации – 3 тыс. руб. + 1 тыс. руб./раб. день, заочного – 5 тыс. руб. В случае размещения рекламы в СМИ участие представителя этого СМИ – бесплатно. Стоимость очного участия представителей высшей школы – 1 тыс. руб / раб. день, заочного – 3 тыс. руб.

Дополнительная информация о порядке проведения конференции, условиях проживания, специалистах и докладах будет включена во второе сообщение, которое планируется выслать **в мае 2018 г.** Во втором сообщении также будут указаны банковские реквизиты и подробная информация о порядке оплаты оргвзноса.

А. Г. Анисович, ФТИ НАН Беларуси

Памяти

Николая Викторовича АНДРИАНОВА

1948–2017

6 августа 2018 г. исполнилось бы 70 лет Николаю Викторовичу Андрианову. Но жизнь распорядилась иначе. 24 декабря 2017 г. перестало биться сердце замечательного человека, талантливого организатора Николая Викторовича Андрианова.

Родился Н. В. Андрианов 6 августа 1948 г. в г. Касимове Рязанской области. После окончания средней школы поступил и успешно окончил Касимовский индустриальный техникум. В 1979 г. закончил Белорусский политехнический институт по специальности «Машины и технология литейного производства», в 1993 г. – Академию международного бизнеса «Континент – Норд Корпорейшн», в 2005 г. – Учреждение образования «Белорусский торгово-экономический университет».

После окончания техникума первой записью в трудовой книжке Н. В. Андрианова стало «формовщик литейного цеха Уральского компрессорного завода». После переезда в Белоруссию трудовая деятельность Н. В. Андрианова продолжилась на Гомельском литейном заводе «Центролит». В течение 32 лет он прошел на этом предприятии непростой, длительный путь от инженера до директора крупнейшего промышленного предприятия.

В 2002 г. Н. В. Андрианов успешно защитил кандидатскую диссертацию, ставшую итогом его более чем 20-летней научно-производственной деятельности.

31 декабря 2002 г. Указом Президента Республики Беларусь А. Г. Лукашенко Н. В. Андрианов был назначен генеральным директором крупнейшего металлургического завода страны – РУП «Белорусский металлургический завод».

В 2009 г. за многолетний плодотворный труд, профессиональное мастерство, достижение производственных показателей, заслуги в развитии промышленности Н. В. Андрианову было присвоено почетное звание «Заслуженный металлург Республики Беларусь».

Н. В. Андрианов являлся депутатом Гомельского областного Совета депутатов.

За многолетний плодотворный труд был награжден медалью «За трудовые заслуги».

С первого дня основания Белорусской ассоциации литейщиков, ныне Ассоциации литейщиков и металлургов, Н. В. Андрианов был активным ее членом, также он являлся вице-президентом Международного Союза металлургов.

Николай Викторович отличался исключительным трудолюбием и неизменно добрым отношением к людям.

Уход из жизни замечательного, порядочного отзывчивого человека – трагическая и невосполнимая утрата для нас.

Память о Николае Викторовиче сохранится в сердцах всех, кто его знал.

Редакция журнала «Литье и металлургия»
Ассоциация литейщиков и металлургов

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 скольжениясо 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

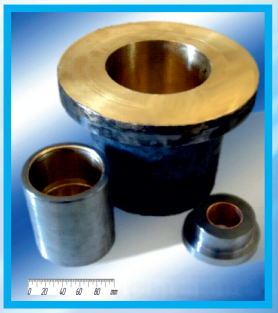
Высокая плотность металла,отсутствие раковин, шлаковых и неметаллических включений.

Наружный диаметр, мм ..... до 350
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

Уважаемые коллеги,

Приглашаем Вас и ваших партнеров принять участие в работе Международной научно-технической конференции «Литейное производство и металлургия 2018. Беларусь» и информационной выставке литейного производства и металлургических технологий, посвященной 60-летию образования механико-технологического факультета Белорусского национального технического университета, которая состоится 17–18 октября 2018 года в Минске.

Предлагаем Вам принять участие в работе конференции и по мере необходимости выступить с докладом или презентацией вашего предприятия. Данные материалы будут включены в сборник трудов конференции. Срок подачи материалов – до 15.08.2018 г.

Требования к оформлению публикаций – стандартные (указаны на сайте www.alimrb.by).

К началу работы конференции будет выпущен каталог организаций, участвующих в данном мероприятии.

Для каталога необходимо предоставить информацию (текст до 1000 знаков) в электронной версии (на русском и английском языках) в срок до 01.09.2018 года на электронный адрес alimrb@tut.by.

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).

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. Тематические круглые столы (металловедение и защитные покрытия, огнеупорные материалы, энергоэффективность и экология на предприятиях, подготовка кадров).

Регистрационный взнос на одного участника конференции 250 евро (по курсу Национального банка РБ на день оплаты).

Стоимость участия в информационной выставке 70 евро за 1 кв. м оборудованной площади стандартного наполнения.

Приглашаем всех специалистов принять участие в данном мероприятии.

Более подробная информация о конференции на сайте АЛиМ www.alimrb.by

Ассоциация литейщиков и металлургов Республики Беларусь
Оргкомитет конференции
220013. г. Минск, ул. Я. Коласа 24, комн. 8м,
тел./факс +375 17 331-11-16, 292-74-75,
e-mail: alimrb@tut.by, limrb@tut.by

БЕЛНИИЛИТ

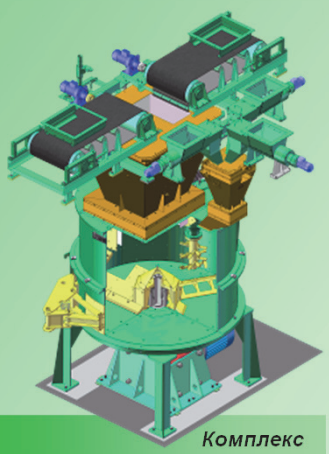
ЛИТЕЙНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ

- **К**омплексные проекты по созданию новых и модернизации действующих литейных предприятий и цехов
- ***Т**ехнологии и оборудование для производства отливок из цветных и железоуглеродистых сплавов*
- **С**месеприготовительное оборудование
- ***Т**ехнологии и оборудование для производства песчаных стержней*
- **Ф**ормовочное оборудование
- ***П**роектирование и изготовление литейной технологической оснастки*

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

Оборудование для производства отливок гильз цилиндров

Машина центробежная карусельная

Комплекс оборудования

Оборудование для производства отливок в кокиль

Машина кокильная карусельная

Комплекс кокильный

Машина кокильная однопозиционная специальная

ОАО «БЕЛНИИЛИТ»

РБ, 220118, г.Минск, ул.Машиностроителей, 28/2

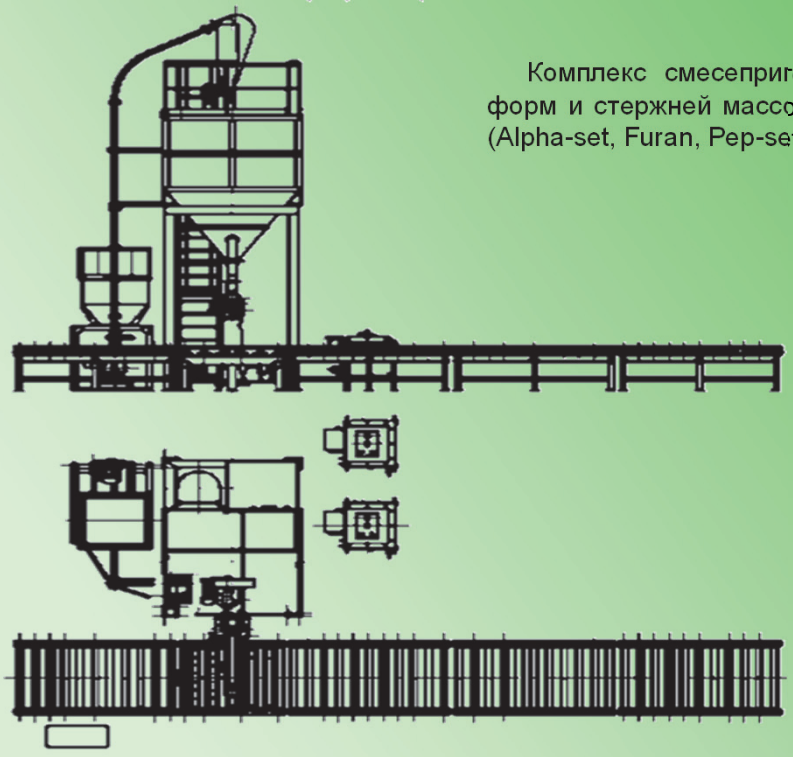
Тел.: +375 17 341 0822. Факс: +375 17 340 0322

belniilit@belniilit.by; belniilit@gmail.com

www.belniilit.by

БЕЛНИИЛИТ

Комплекс смесеприготовления *мод.4847С*



Комплекс смесеприготовления предназначен для изготовления форм и стержней массой до 1000 кг из холоднотвердеющих смесей (Alpha-set, Furan, Pep-set, Resol и др.).

Состав комплекса:

– установка подачи сухого песка;
– смеситель одношнековый с насосами дозирующими;
– стол вибрационный;
– емкости термостатические;
– конвейер роликовый;
– пневмотранспорт низкого давления;
– дозатор сухих добавок (при необходимости).

Состав комплекса может изменяться по требованию заказчика.

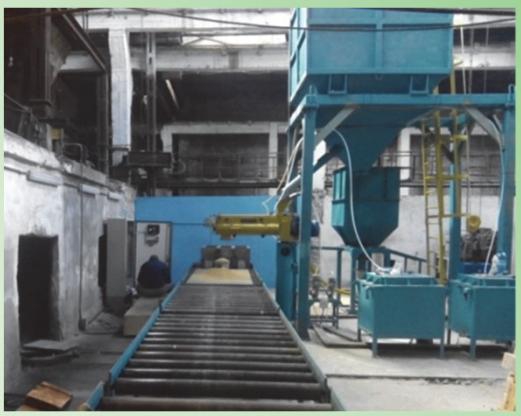
Техническая характеристика	Параметр
1. Производительность смесителя, т/ч	4…10
2. Грузоподъемность вибростола, кН	20
3. Габаритные размеры рабочей поверхности вибростола, мм: длина ширина	1 200 1 200
4. Объем бункера, м³, не более	6
5. Объем термоемкости, л	270
6. Максимальная высота устанавливаемой оснастки, мм:	500 (может изменяться по требованию заказчика)
7. Установленная мощность, кВт	20
8. Расход сжатого воздуха, м³/ч	10
9. Габаритные размеры, мм: длина ширина высота	16 420 7 470 7 375

Основные особенности комплекса:

– система управления на базе ПЛК с панелью оператора, позволяющая сохранять в памяти, корректировать и использовать различные составы смесей (в т.ч. с сухими добавками);

– пневмотранспорт низкого давления для загрузки наполнителя (песка) в расходный бункер;

– роликовый конвейер, позволяющий организовать оптимальную работу на комплексе.



ОАО «БЕЛНИИЛИТ»
РБ, 220118, г.Минск, ул.Машиностроителей, 28/2
Тел.: +375 17 341 0822. Факс: +375 17 340 0322
belniilit@belniilit.by; belniilit@gmail.com
www.belniilit.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);
- нейтрализации 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 разработке и изготовлению оборудования, 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, 27 83 27
info@itm.by http://www.itm.by