

## ЛИТЬЕ МЕТАЛЛОВ

«Промышленные решения» при активном сотрудничестве и поддержке Китайской Литейной Ассоциации (CFA) занимается модернизацией и созданием новых литейных производств на территории РФ и стран СНГ, успешно совмещая производственные возможности ведущих предприятий и научно-исследовательской и инженерной базы Китая. Это позволяет нам предлагать клиентам проектные решения, отвечающие техническим, нормативным, качественным и другим требованиям, одновременно с этим повышающие экономическую привлекательность проекта.

- Отливки;
- Материалы;
- Оборудование;
- Технологии;
- Инжиниринг.

## СТАНКИ ДЛЯ МЕХАНООБРАБОТКИ С ЧПУ

MUNZER TECHNOLOGY Co., LTD является предприятием по производству, продаже и обслуживанию металлообрабатывающих станков с ЧПУ. Производственные базы расположены в Тайване и континентальном Китае. Предприятие тесно сотрудничает с немецким REXROTH, что позволило создать научно-исследовательскую и прикладную базу по проектировке и созданию линейных направляющих для компании MUNZER. Кроме того, в США был открыт Научно-исследовательский центр высокопроизводительных фрезерных станков с ЧПУ.

- Токарные станки с ЧПУ;
- Вертикальные обрабатывающие центры;
- Горизонтальные обрабатывающие центры;
- Зубофрезерные станки с ЧПУ;
- Портальные фрезерно-расточные станки;
- Портальные шлифовальные станки.



Официальный дилер по РФ и СНГ

 **ПРОМЫШЛЕННЫЕ  
РЕШЕНИЯ**



**浦锐国际**

## ОБРАБОТКА ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА И ТРУБ

«Промышленные решения» в тесном сотрудничестве с PROTECH INTERNATIONAL осуществляют поставки оборудования для обработки листового металла и труб. Компании тесно сотрудничают с рядом надежных заводов в Тайване и континентальном Китае, а также подбирают технологии, с возможностью комплектования цеха «под ключ». Это позволяет подбирать оборудование любой сложности и для выполнения конкретных задач Заказчика, в т.ч. нестандартные решения. Опыт совместного посещения китайских заводов-изготовителей дает возможность познакомиться с передовыми технологиями производства при выборе оборудования.

- Станки для лазерной резки и лазерной сварки;
- Установки гидроабразивной/плазменной резки;
- Трубогибочное оборудование;
- Листогибочные прессы;
- Гильотины;
- Координатно-пробивные прессы;
- Валковые машины;
- Станки для полировки и шлифовки;
- Штамповочные прессы.



# ЛИТЬЕ И МЕТАЛЛУРГИЯ

2021 г., № 3

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, г. Минск  
ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин  
Ассоциация литейщиков и металлургов, г. Минск  
ОАО «БЕЛНИИЛИТ», г. Минск  
ОАО «ГОМЕЛЬСКИЙ ЛИТЕЙНЫЙ ЗАВОД «ЦЕНТРОЛИТ», г. Гомель  
ГНУ «Институт технологии металлов Национальной академии наук  
Беларуси», г. Могилев  
ОАО «Минский тракторный завод», г. Минск  
ОАО «Могилевский металлургический завод», г. Могилев  
ОАО «Речицкий метизный завод», г. Речица

## ИЗДАТЕЛЬ

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

## ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДСОВЕТА

Харитончик С. В., д-р техн. наук, БНТУ, г. Минск, Беларусь

## ЗАМ. ПРЕДСЕДАТЕЛЯ РЕДСОВЕТА

Марукович Е. И., акад. НАН Беларуси, д-р техн. наук, профессор,  
ГНУ ИТМ НАН Беларуси, г. Могилев, Беларусь

## РЕДСОВЕТ

Корчик Д. А., ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»,  
Беларусь  
Хрусталева Б. М., акад. НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф., БНТУ,  
Беларусь  
Николайчик Ю. А., канд. техн. наук, доцент, БНТУ, Беларусь  
Самончик В. Г., ОАО «Речицкий метизный завод», Беларусь  
Душко С. О., ОАО «ГОМЕЛЬСКИЙ ЛИТЕЙНЫЙ ЗАВОД «ЦЕНТРОЛИТ»,  
Беларусь

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Марукович Е. И., академик НАН Беларуси, д-р техн. наук, профессор,  
лауреат Госпремий БССР и РБ, Заслуженный изобретатель РБ

## РЕДАКЦИЯ

Машканова С. В., редактор, БНТУ, Беларусь  
Лебедев М. Н., компьютерная верстка, дизайн, БНТУ, Беларусь  
Голосюк Н. В., менеджмент, БНТУ, Беларусь  
Соболев В. Е., перевод, БНТУ, Беларусь

## ОСНОВАТЕЛЬ ЖУРНАЛА

Кукуй Давыд Михайлович, д-р техн. наук, проф., лауреат Гос-  
премии БССР

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Марукович Е. И., главный редактор, акад. НАН Беларуси, д-р техн.  
наук, проф., ГНУ ИТМ НАН Беларуси, г. Могилев, Беларусь  
Николайчик Ю. А., зам. главного редактора по литейному произ-  
водству, канд. техн. наук, доцент, БНТУ, г. Минск, Беларусь  
Анелюкин Н. И., зам. главного редактора по металлургии, ОАО  
«БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», Беларусь  
Анисович А. Г., д-р физ.-мат. наук, проф., ГНУ ФТИ НАН Белару-  
си, г. Минск, Беларусь  
Гордиенко А. И., акад. НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф., ГНУ  
ФТИ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь  
Дибров И. А., д-р техн. наук, проф., Российская ассоциация литей-  
щиков, г. Москва, Россия  
Иванов И. А., д-р техн. наук, проф., БНТУ, г. Минск, Беларусь  
Константинов В. М., д-р техн. наук, проф., БНТУ, Беларусь  
Крамер Олаф М., Heinrich Wagner Sinto Maschinenfabrik GmbH,  
Германия  
Найдек В. Л., акад. НАН Украины, д-р техн. наук, проф., ФТИ МиС  
НАН Украины, г. Киев, Украина  
Немененок Б. М., д-р техн. наук, проф., БНТУ, г. Минск, Беларусь  
Нофал А., проф., Центральный научно-исследовательский метал-  
лургический институт, г. Каир, Египет  
Пантелеенко Ф. И., чл.-корр. НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф.,  
БНТУ, г. Минск, Беларусь  
Поддубный А. Н., д-р техн. наук, г. Москва, Россия  
Прушак В. Я., чл.-корр. НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф., ЗАО  
«Солигорский институт проблем ресурсосбережения с опытным  
производством», г. Солигорск, Беларусь  
Ровин С. А., д-р техн. наук, доцент, БНТУ, г. Минск, Беларусь  
Садох М. А., канд. техн. наук, доцент, БНТУ, г. Минск, Беларусь  
Стеценко В. Ю., д-р техн. наук, ГНУ ИТМ НАН Беларуси, г. Мо-  
гилев, Беларусь  
Томило В. А., д-р техн. наук, проф., БНТУ, г. Минск, Беларусь  
Трусова И. А., д-р техн. наук, проф., БНТУ, г. Минск, Беларусь  
Франашек Т., Польская ассоциация литейщиков, Польша  
Хань Юйсинь, Китайская литейная ассоциация, Китай  
Чандл П., Furtenbach, Австрия  
Чой Ки-Йонг, проф., 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 00.09.2021. Выход в свет 00.00.2021. Формат 60×84%. Цена свободная

Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 15,3. Уч.-изд. л. 8,7. Тираж 150 экз. Заказ 000000

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 Респу-  
блики Беларусь, DOAJ, РИНЦ.

# FOUNDRY PRODUCTION AND METALLURGY

2021, no. 3

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, Minsk  
OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zlobin  
Association of Foundrymen and Metallurgists of Belarus, Minsk  
OJSC «BELNIIIT», Minsk  
OJSC «Gomel Foundry Plant «TSENTROLIT», Gomel  
State scientific institution «Institute of Technology of Metals of National Academy of Sciences of Belarus», Mogilev  
OJSC «Minsk Tractor Works», Minsk  
OJSC «Mogilev Metallurgical Works», Mogilev  
OJSC «Rechitsa Metzizny Plant», Rechitsa

## PUBLISHER

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

## CHAIRMAN OF EDITORIAL COUNCIL

*Kharitonchik S. V.*, Dr. of Engineering Science, BNTU, Minsk, Belarus

## DEPUTY CHAIRMAN OF THE EDITORIAL COUNCIL

*Marukovich E. I.*, Academician of NAS of Belarus, Dr. of Engineering Sciences, Professor, Institute of Technology of Metals of NAS of Belarus, Mogilev, Belarus

## EDITORIAL COUNCIL

*Korchik D. A.*, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin, Gomel Region, Belarus

*Khrustalev B. M.*, Academician of NAS of Belarus, Dr. of Engineering Sciences, Professor, BNTU, Minsk, Belarus

*Nikalaichyk Yu. A.*, Ph. D in Technical Sciences, Associate Professor, BNTU, Minsk, Belarus

*Samonchik V. G.*, OJSC Rechitsa Metzizny Plant, Rechitsa, Belarus

*Dushko S. O.*, OJSC Gomel Foundry Plant «TSENTROLIT», Gomel, Belarus

## CHIEF EDITOR

*Marukovich E. I.*, Academician of National Academy of Sciences of Belarus, Dr. of Engineering Sciences, Professor, Laureate of State Prizes of BSSR and RB, Honoured Inventor of the Republic of Belarus

## EDITORIAL STAFF

*Mashkanova S. V.*, Editor, BNTU, Minsk, Belarus

*Lebedev M. N.*, Computer layout, Design, BNTU, Minsk, Belarus

*Halasiuk N. V.*, Management, BNTU, Minsk, Belarus

*Sobolev V. E.*, Translation, BNTU, Minsk, Belarus

## FOUNDER OF THE JOURNAL

*Kukuj David Mikhailovich*, Dr. of Engineering Sciences, Professor, Laureate of State Prize of BSSR

## EDITORIAL BOARD

*Marukovich E. I.*, Chief Editor, Academician of NAS of Belarus, Dr. of Engineering Sciences, Professor, Institute of Technology of Metals of NAS of Belarus, Mogilev, Belarus

*Nikalaichyk Yu. A.*, Deputy Chief Editor for Foundry, Ph.D in Technical Sciences, Associate Professor, BNTU, Minsk, Belarus

*Anel'kin N. I.*, Deputy Chief Editor for Metallurgy, OJSC «BSW – Management Company of the Holding «BMC», Zhlobin, Gomel Region, Belarus  
*Anisovitch A. G.*, Dr. of Physical-Math Sciences, Professor, Physical-Technical Institute of the NAS of Belarus, Minsk, Belarus

*Gordienko A. I.*, Academician of NAS of Belarus, Dr. of Engineering Sciences, Professor, Physical-Technical Institute of the NAS of Belarus, Minsk, Belarus

*Dibrov I. A.*, Dr. of Engineering Sciences, Professor, Russian Foundry Association, Moscow, Russia

*Ivanov I. A.*, Dr. of Engineering Sciences, Professor, BNTU, Minsk, Belarus

*Konstantinov V. M.*, Dr. of Engineering Sciences, Professor, BNTU, Minsk, Belarus

*Kramer Olaf M.*, HEINRICH WAGNER SINTO Maschinenfabrik GmbH, Germany

*Naidek V. L.*, Academician of NAS of Ukraine, Dr. of Engineering Sciences, Professor, Physical-Technological Institute of NAS of Ukraine, Kiiv, Ukraine

*Nemenenok B. M.*, Dr. of Engineering Sciences, Professor, BNTU, Minsk, Belarus

*Nofal A.*, Professor, Central Metallurgical R&D Institute, Cairo, Egypt

*Panteleenko F. I.*, Corresponding Member of NAS of Belarus, Dr. of Engineering Sciences, Professor, BNTU, Minsk, Belarus

*Poddubnij A. N.*, Dr. of Engineering Sciences, Moscow, Russia

*Pruschak V. Ia.*, Corresponding Member of NAS of Belarus, Dr. of Engineering Sciences, Professor, CJSC Soligorsk Institute of Problems of Resource Saving with Pilot Production, Soligorsk, Belarus

*Rovin S. L.*, Dr. of Engineering Sciences, Associate Professor, BNTU, Minsk, Belarus

*Sadokha M. A.*, Ph.D in Technical Sciences, Associate Professor, BNTU, Minsk, Belarus

*Stetsenko V. Yu.*, Dr. of Engineering Sciences, Institute of Technology of Metals of NAS of Belarus, Mogilev, Belarus

*Tomilo V. A.*, Dr. of Engineering Sciences, Professor, BNTU, Minsk, Belarus

*Trusova I. A.*, Dr. of Engineering Sciences, Professor, BNTU, Minsk, Belarus

*Franaszek T.*, Polish Foundrymen's Association, Krakow, Poland

*Han Yuxin*, China Foundry Association, China

*Tschandl P.*, FURTENBACH, Austria

*Choi Ki-Jong*, Professor, Republic of Korea

## 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 Journal is registered in the Ministry of information of the Republic of Belarus. Certificate of registry No 1244 dated May 31, 2012.

Format 60×84%. Free price. Offset paper. Digital printing.

Base print pages 15,3. Account. publ. pages 8,7. Circulation 150 copies. Order 000000.

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

## СОДЕРЖАНИЕ

Подписной индекс 75034

## С ЮБИЛЕЕМ

<b>Марукович Е. И.</b> (к 75-летию со дня рождения) .....	8
<b>Иванов И. А.</b> (к 60-летию со дня рождения) .....	22
<b>Ткаченко С. С.</b> (к 85-летию со дня рождения) .....	24
<b>Лазаренков А. М.</b> (к 75-летию со дня рождения) .....	25
<b>Денисов Л. С.</b> (к 90-летию со дня рождения) .....	26
<b>Стеблов А. Б.</b> (к 70-летию со дня рождения) .....	28

## МЕТАЛЛУРГИЯ

<b>Серегина Е. С., Аюпова Т. Н.,</b> ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» Исследование обрывов типа «искрение» тонкой латунированной проволоки для металлокорда и рукавов высокого давления и причин их образования .....	29
<b>Терещенко А. В., Ковалева И. А.,</b> ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» Установление истинных причин возникновения дефектов для обеспечения качества непрерывнолитой за- готовки и горячекатаной продукции на всех стадиях технологической цепочки ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» .....	35
<b>Гирилович Н. В., Довгополая Г. В.,</b> ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» Применение статистических методов при анализе несоответствий несоответствующей продукции в процессе производства .....	40
<b>Коновальчук С. С., Лившиц И. М.,</b> ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» Модернизация тормозной системы размотки на канатных машинах .....	46
<b>Гапеенко Е. В.,</b> ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» Своевременная диагностика гидравлического оборудования в металлургическом производстве .....	50
<b>Терещенко А. В., Ходосовская Н. А.,</b> ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», <b>Одарченко И. Б.,</b> ГГТУ им. П. О. Сухого Анализ причин и условий формирования поверхностных дефектов на горячекатаном прокате из перитектических марок стали, полученных в условиях ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» .....	55
<b>Фетисов В. П.,</b> г. Орел, Россия Контроль способности к волочению катанки из углеродистой стали .....	61
<b>Путеев В. С., Савченко С. А., Панковец И. А., Возная В. И.,</b> ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», <b>Астапенко И. В.,</b> ГГТУ им. П. О. Сухого Совершенствование технологического процесса производства подшипниковых марок стали на стане 370/150 .....	65

## ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

<b>Марукович Е. И., Стеценко В. Ю.,</b> ГНУ ИТМ НАН Беларуси, <b>Стеценко А. В.,</b> МОУВО «Белорусско-Российский университет»	
Термодинамика твердого и жидкого алюминия .....	74
<b>Ткаченко С. С., Емельянов В. О., Мартынов К. В.,</b> Филиал РАХ «Творческая Мастерская «Литейный Двор», г. Санкт-Петербург, Россия	
Современные материалы и технологии в производстве художественного литья .....	78
<b>Русевич О. А., Ровин С. Л.,</b> БНТУ	
Исследование влияния вакуума на отверждение смесей на силикатном связующем .....	82
<b>Ткаченко С. С., Емельянов В. О., Мартынов К. В.,</b> Филиал РАХ «Творческая Мастерская «Литейный Двор», г. Санкт-Петербург, Россия	
Зависимость фрактальности геля кремнекислоты от способа эмульгирования золя .....	88

## МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

<b>Витязь П. А.,</b> НАН Беларуси, <b>Свидуневич Н. А., Куис Д. В.,</b> БГТУ, <b>Николайчик Ю. А., Ровин С. Л.,</b> БНТУ	
Фуллерены и перспективы их использования в литейном и металлургическом производствах .....	91
<b>Рудницкий Ф. И., Рафальский И. В., Лущик П. Е.,</b> БНТУ, <b>Покровский А. И., Петренко В. В.,</b> ГНУ ФТИ НАН Беларуси	
Получение и исследование структурных характеристик слоистых композитов на основе системы Fe-Al .....	97
<b>Урбанович Н. И., Барановский К. Э., Розенберг Е. В., Дашкевич В. Г.,</b> БНТУ, <b>Лугин В. Г.,</b> БГТУ	
Исследование гранулометрического, химического и фазового составов отходов производства горячего цинкования .....	106

## ОХРАНА ТРУДА

<b>Лазаренков А. М., Кот Т. П.,</b> БНТУ	
Методика комплексной оценки условий труда в литейном производстве .....	112
<b>Лазаренков А. М.,</b> БНТУ	
Классификация производственных факторов литейного производства .....	118
<b>Поэтическая страничка</b> .....	123
Памяти <b>Тена Э. Б.</b> .....	125

## CONTENTS

Subscription 75034

## HAPPY ANNIVERSARY METALLURGY

<b>Marukovich E. I.</b> (on to the 75th Anniversary) .....	8
<b>Ivanov I. A.</b> (on to the 60th Anniversary) .....	22
<b>Tkachenko S. S.</b> (on to the 85th Anniversary) .....	24
<b>Lazarenkov A. M.</b> (on to the 75th Anniversary) .....	25
<b>Denisov L. S.</b> (on to the 90th Anniversary) .....	26
<b>Steblov A. B.</b> (on to the 70th Anniversary) .....	28

## METALLURGY

<b>Seregina E. S., Ayupova T. N.</b> , OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC” Investigation of breaks of the “sparking” type of brass-plated wire for metal cord and high-pressure hoses and the causes of their formation .....	29
<b>Tereshchenko A. V., Kovaleva I. A.</b> , OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC” Establishing the true causes of defects to ensure the quality of continuously cast billets and hot-rolled products at all stages of the process chain at OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC” .....	35
<b>Girilovich N. V., Dovgopolaya G. V.</b> , OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC” Application of statistical methods in the analysis of nonconformities of nonconforming products in the production process .....	40
<b>Konovalchuk S. S., Livshits I. M.</b> , OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC” Modernization of the brake system of unwinding on rope machines .....	46
<b>Gapeenko E. V.</b> , OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC” Timely diagnostics of hydraulic equipment in metallurgical production .....	50
<b>Tereshchenko A. V., Khodosovskaya N. A.</b> , OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC”, <b>Odarchenko I. B.</b> , Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoi Analysis of the causes and conditions for the formation of surface defects on hot-rolled products from peritectic steel grades obtained under the conditions OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC” .....	55
<b>Fetisov V. P.</b> , Orel sity, Russia Controlling the drawability of carbon steel wire rod .....	61
<b>Puteev V. S., Savchenko S. A., Pankovets I. A., Voznaja V. I.</b> , OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC”, <b>Astapenko I. V.</b> , Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoi Improvement of the technological process of manufacturing bearing grades of steel at the 370/150 mill .....	65

### FOUNDRY

<b>Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu.,</b> Institute of Technology of Metals of National Academy of Sciences of Belarus, <b>Stetsenko A. V.,</b> Belarusian-Russian University	
Thermodynamics of solid and liquid aluminium .....	74
<b>Tkachenko S. S., Yemelyanov V. O., Martynov K. V.,</b> Branch of the RAH Creative Workshop "Liteyny Dvor", St. Petersburg, Russia	
Modern materials and technologies in the production of artificial casting .....	78
<b>Rusevich O. A., Rovin S. L.,</b> Belarusian National Technical University	
Investigation of the effect of vacuum on the curing of mixtures on a silicate binder .....	82
<b>Tkachenko S. S., Yemelyanov V. O., Martynov K. V.,</b> Branch of the RAH Creative Workshop "Liteyny Dvor", St. Petersburg, Russia	
Dependence of the fractality of the silica gel on the method of sol emulsification .....	88

### SCIENCE OF MATERIALS

<b>Vitiaz P. A.,</b> National Academy of Science of Belarus, <b>Svidunovich N. A., Kuis, D. V.,</b> Belarusian State Technological University, <b>Nikalaichyk Yu. A., Rovin S. L.,</b> Belarusian National Technical University	
Fullerenes and prospects of their use in foundry and metallurgical production .....	91
<b>Rudnitski F. I., Rafalski I. V., Lushchik P. E.,</b> Belarusian National Technical University, <b>Pokrovski A. I., Petrenko V. V.,</b> Physical-Technical Institute of National Academy of Sciences of Belarus	
Fabrication and structural characterization of Fe-Al-based laminated composites .....	97
<b>Urbanovich N. I., Baranovsky K. E., Rosenberg E. V., Dashkevich V. G.,</b> Belarusian National Technical University, <b>Lugin V. G.,</b> Belarusian State Technological University	
Investigation of granulometric, chemical and phase compositions of hot-dip galvanizing wastes .....	106

### PROTECTION OF LABOUR

<b>Lazarenkov A. M., Kot T. P.,</b> Belarusian National Technical University	
The method of comprehensive assessment of working conditions in the foundry production .....	112
<b>Lazarenkov A. M.,</b> Belarusian National Technical University	
Classification of production factors of foundry production .....	118
<b>Poetic page</b> .....	123
In memory of <b>Ten E. B.</b> .....	125

**С ЮБИЛЕЕМ!**  
**ЕВГЕНИЙ ИГНАТЬЕВИЧ МАРУКОВИЧ**  
**(К 75-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)**

22 августа 2021 г. исполнилось 75 лет со дня рождения ведущему ученому Беларуси в области металлургии, литейного производства и материаловедения, академику НАН Беларуси, доктору технических наук, профессору, лауреату Государственных премий БССР и Республики Беларусь, Заслуженному изобретателю Республики Беларусь Евгению Игнатъевичу Маруковичу.

После окончания в 1969 г. Белорусского политехнического института по специальности «Машины и технология литейного производства» Евгений Игнатъевич работает инженером-технологом Минского завода отопительного оборудования, затем с 1971 г. – старшим инженером, старшим научным сотрудником, заведующим лабораторией Могилевского отделения Физико-технического института АН БССР (с 1992 г. – ГНУ «Институт технологии металлов»), с 1996 г. – заместителем директора по научной работе и с 1998 г. – директором Института технологии металлов Национальной академии наук Беларуси, с 2016 г. – заведующим лабораторией кинетики кристаллизации ИТМ НАН Беларуси.

В 2002–2004 гг. Евгений Игнатъевич – член Президиума Национальной академии наук Беларуси, в 2006–2009 гг. – член Президиума Высшей аттестационной комиссии (ВАК) Республики Беларусь, в 2011–2021 гг. – член экспертного совета ВАК Республики Беларусь.

Научные работы Е. И. Маруковича широко известны в нашей стране, близком и дальнем зарубежье. Он внес большой вклад в развитие теории литейных процессов. Им разработаны важные вопросы теории кристаллизации и затвердевания отливок при непрерывном литье и получении износостойких отливок, сформулированы важнейшие закономерности комплексного влияния тепловых, динамических и металлургических параметров на формирование отливки, определены основные принципы и разработаны методы интенсификации процесса, обеспечивающие повышение производительности оборудования, улучшение качества заготовок и расширение возможностей непрерывного литья, изучены особенности механизма формирования структуры и свойств литых изделий в условиях направленного затвердевания и регулируемого теплоотвода и графитовых металлических и комбинированных охлаждаемых формах. На этой основе разработан и внедрен на заводах Беларуси, стран СНГ и Литвы ряд новых материалов, в частности сталей, чугунов и цветных сплавов для заготовок подъемно-транспортных машин, сельскохозяйственного машиностроения, промышленности строительных материалов, станко-, авто-, тракторостроения и технологических процессов их получения, обеспечивающих уменьшение капитальных затрат, брака, припусков на механическую обработку, производственных площадей, себестоимости в 2–4 раза, повышение выхода годного до 90–92%, прочности и износостойкости деталей на 40–50% и гидроплотности в 1,5–2,0 раза. Это позволило освоить выпуск и осуществить экспортные поставки высококачественных отливок в десятки стран и продать технологии и оборудование в Республику Корея, Россию, Украину, Литву, Казахстан, Азербайджан.

Е. И. Марукович внес существенный вклад в развитие машиностроительного комплекса Республики Беларусь и реального сектора экономики в целом. Созданы и внедрены в производство высокопроизводительные, ресурсосберегающие, экологически чистые, наукоемкие технологии и оборудование: непрерывного горизонтального и вертикального литья; непрерывно-циклического литья намораживанием; электрошлакового и центробежного литья биметаллических отливок; получения заготовок алюминиево-кремниевых сплавов с наноструктурным кремнием и др. Разработанные процессы позволяют получать новые литые материалы с заданными структурой и физико-механическими свойствами с повышением ресурса работы.



Е. И. Марукович – автор более 750 научных трудов, более 20 монографий, более 380 патентов, в том числе Англии, Республики Корея, России, США, Франции, ФРГ, Японии, неоднократно выступал с лекциями и докладами на престижных международных конгрессах, симпозиумах и в ведущих научных центрах Германии, Испании, Индии, Китая, Кореи, Польши, США, Турции и ряда других стран.

Е. И. Марукович – талантливый организатор. Он ведет большую координационно-научно-организационную работу.

Е. И. Марукович является членом координационных советов по государственным комплексным целевым научно-техническим программам «Механика, металлургия, диагностика в машиностроении», «Материаловедение, новые материалы и технологии», редколлегий и редакционных советов научных и научно-технических журналов, в том числе России и Украины, советов по защите диссертаций, заместителем председателя Ассоциации литейщиков и металлургов Республики Беларусь, главным редактором журнала «Литье и металлургия».

Огромное внимание Е. И. Марукович уделяет подготовке инженерных и научных кадров. Он является бессменным председателем Государственной экзаменационной комиссии в БНТУ на кафедре МиТЛП, читал лекции в белорусских и зарубежных университетах, постоянно участвует в работе по аттестации кадров высшей научной квалификации, подготовил более 10 кандидатов и докторов наук.

Закономерно, что успешный труд академика Е. И. Маруковича высоко оценен как международным сообществом, так и в Беларуси.

Он награжден почетными грамотами ГКНТ Республики Беларусь, ВАК Республики Беларусь, Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, Национальной академии наук Беларуси, Могилевского городского и областного исполнительных комитетов, Министерства промышленности, Министерства образования Республики Беларусь, именной стипендией Президента Республики Беларусь за высокие достижения в сфере «Наука и технологии». В 2010 г. Е. И. Марукович удостоен специальной премии Могилевского горисполкома «Достижение». За высокие достижения в профессиональной и общественной деятельности в 2000 и 2011 гг. Могилевским облисполкомом присвоено звание «Человек года» и его имя занесено на областную доску Почета.

Е. И. Марукович награжден дипломом первой степени и памятным знаком Ассоциации литейщиков Санкт-Петербурга и Ленинградской области за личный вклад в развитие научной базы и инновационных технологий литейного производства, медалью Российской ассоциации литейщиков «За верность профессии», почетной грамотой Минпромполитики Украины.

Международный Библиографический центр (Кембридж, Англия) присудил Евгению Игнатьевичу титул «Человек года» (1998–1999) и внес в справочник «Выдающиеся люди XX столетия».

В 1990 г. за исследование, разработку и внедрение эффективных ресурсо- и материалосберегающих экологически безвредных технологических процессов получения высококачественных отливок в условиях централизованного производства Е. И. Маруковичу присуждена Государственная премия БССР, в 2010 г. за создание и промышленную реализацию принципиально нового метода непрерывно-циклического литья намораживанием высокоизносостойких деталей техники – Государственная премия Республики Беларусь, в 1999 г. за цикл работ по теоретическим основам формирования отливок – премия НАН Беларуси, в 2011 г. за разработку теоретических основ и эффективных способов модифицирования сплавов – премия НАН Беларуси. В 2018 г. Е. И. Маруковичу присуждена Премия имени академика А. В. Лыкова за комплекс работ «Теплообмен при структурно-фазовых превращениях в металлах и сплавах в металлургии и машиностроении». Евгений Игнатьевич награжден медалью Франциска Скорины (1999), Орденом Почета (2008).

И это далеко не полный перечень достижений Е. И. Маруковича – жизнелюба, щедрой души человека, надежного друга, прекрасного семьянина.

Дорогой Евгений Игнатьевич, от всей души поздравляем Вас с юбилеем. Желаем Вам крепкого здоровья, благополучия, творческих успехов, свершения всех Ваших планов.

## ПОЗДРАВЛЕНИЯ ЮБИЛЯРУ

Глубокоуважаемый Евгений Игнатьевич!

От всей души поздравляю Вас с Юбилеем. Вы искренний и настоящий человек, ученый и учитель. Ваша отзывчивость и благожелательность к людям снискали Вам всеобщее глубокое уважение среди коллег и учеников. Многочисленные и выдающиеся результаты Вашей научной и научно-практической деятельности имеют широкое мировое признание, в том числе в мировом сообществе литейщиков (World Foundry Organization), международных институтах и университетах, а также в зарубежных компаниях – мировых лидерах в области литейного производства. Благодаря широте научных интересов Вы достигли колоссальных успехов в науке и практической реализации своих замыслов, что, несомненно, является образцом для подражания новым поколениям ученых, преподавателей, да и просто сегодняшней молодежи. Вы являетесь ярким примером того, как человек может сделать себя сам за счет собственного напряженного труда и таланта, как, преодолевая трудности, можно покорить любые вершины и достичь настоящего успеха. Вы никогда не забываете родную Альма-Матер – Белорусский национальный технический университет, и являетесь неотъемлемой частью большого коллектива БНТУ. Коллектив университета, в том числе механико-технологического факультета, а в особенности кафедры «Машины и технология литейного производства» гордится Вами и благодарит за то, что на протяжении 57 лет Ваше имя и дела неразрывно связаны с БПИ-БГПА-БНТУ.

Евгений Игнатьевич, Вы по-прежнему полны сил и энергии, а Ваши опыт и мудрость являются гарантией того, что список Ваших достижений еще многократно умножится. Желаю Вам новых творческих успехов, здоровья, благополучия, счастья и радости в жизни Вам и Вашим близким!

*Проректор по учебной работе БНТУ,  
канд. техн. наук, доцент  
Ю. А. Николайчик*

Уважаемый Евгений Игнатьевич!

Весь коллектив механико-технологического факультета сердечно и от всей души поздравляет Вас со столь знаменательным юбилеем – 75-летием со дня рождения.

Мы гордимся тем, что Вы начинали свою научную деятельность и профессиональное становление с окончания механико-технологического факультета. Ваши удивительные талант и трудолюбие, широта научных интересов помогли достичь выдающихся успехов как в науке, так и в практической реализации своих научных идей.

Несмотря на огромную занятость, Вы всегда проявляли живейший интерес к проблемам факультета, всегда поддерживали нас в трудную минуту советом и делами. Все годы после окончания механико-технологического факультета Белорусского политехнического института Вы всегда были с нами. Мы искренне ценим Вашу постоянную заботу и внимание к нашим проблемам.

Мы желаем Вам неувядаемого оптимизма и новых творческих успехов. Крепкого здоровья, благополучия и простого человеческого счастья Вам и Вашим близким.

*Коллектив МТФ БНТУ*

22 августа исполнилось 75 лет выдающемуся выпускнику кафедры «Машины и технология литейного производства», академику Национальной академии наук Беларуси, лауреату Государственных премий БССР и Республики Беларусь, Заслуженному изобретателю Республики Беларусь, доктору технических наук, профессору Евгению Игнатьевичу Маруковичу.

Евгений Игнатьевич всегда поддерживал самые тесные связи с кафедрой, был и остается нашим надежным другом, партнером и опорой, более 10 лет он является бессменным председателем Государственной экзаменационной комиссии на нашей кафедре, осуществляет научное руководство научно-исследовательской лабораторией «Материаловедение и технология литейного производства», активно участвует в кафедральной научно-исследовательской и учебно-просветительской работе.

От имени всех выпускников и работников кафедры поздравляю Евгения Игнатьевича с юбилеем! Крепкого здоровья и счастья, творческих успехов, неиссякаемой бодрости, оптимизма и благополучия Вам – уважаемый Евгений Игнатьевич!

*Заведующий кафедрой  
«Машины и технология  
литейного производства» БНТУ  
д-р техн. наук, доцент С.Л. Ровин*

Коллектив кафедры «Порошковая металлургия, сварка и технология материалов» от всей души поздравляет Евгения Игнатьевича Маруковича с 75-летием и желает юбиляру крепкого здоровья, благополучия, дальнейших творческих успехов и достижений на благо белорусской науки.

У юбиляра возраст зрелости,  
А планов и задач не перечесать.  
Вот молодым бы многим той же смелости,  
При этом помнить, что такое честь.  
Оглянешься, назвать всё не берусь я,  
Чему-то одному иной бы был бы рад.  
Вы – академик и литейщик главный Беларуси,  
Лауреат Госпремий и иных наград.

По жизни – однолюб в семье, науке,  
Все силы без остатка отдаёт.  
Придёт на помощь и протянет другу руку,  
В борьбе за правду он позиций не сдаёт.

Таких талантов у страны немного  
Способных для науки всё отдать,  
Поэтому их творчеству и жизненной дороге  
Содействовать бы и ценить, а не мешать.

Так будь судьба и дальше благосклонна к Маруковичу!  
Здоровья Вам, в дальнейшем так держать!  
А молодым учёным – как напутствие  
Учиться у таких, как он, и в жизни подражать!

*Заведующий кафедрой «Порошковая металлургия,  
сварка и технология материалов» БНТУ,  
чл.-корр. НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф.  
Ф.И. Пантелеенко*

22 августа 2021 г. исполнилось 75 лет Евгению Игнатьевичу Маруковичу – выдающемуся ученому и организатору науки в области технологии металлов, академику Национальной академии наук Беларуси, доктору технических наук, профессору, лауреату Государственных премий БССР и Республики Беларусь, Заслуженному изобретателю Республики Беларусь, заместителю председателя Ассоциации литейщиков и металлургов, главному редактору журнала «Литье и металлургия» и члену редколлегий ряда других научных журналов.

Е. И. Марукович – автор более чем 750 фундаментальных и прикладных научных работ в области материаловедения, машиностроения, металлургии, процессов литья. Им разработана теория кристаллизации и затвердевания отливок при непрерывном литье и получении износостойких отливок, установлены закономерности комплексного влияния тепловых, кинетических, гидродинамических и металлургических параметров на формирование отливки, разработаны методы интенсификации металлургических процессов, выявлены особенности механизма формирования структуры и свойств литых изделий в условиях направленного затвердевания и регулируемого теплоотвода в графитовых, металлических и комбинированных охлаждаемых формах. Е. И. Маруковичем разработаны и внедрены новые материалы и технологические процессы получения заготовок из черных и цветных сплавов для различных отраслей промышленности, что позволило осуществить в том числе экспортные поставки высококачественной продукции, а также технологий и оборудования непрерывного литья в десятки стран мира.

Е. И. Марукович пользуется известностью и заслуженным авторитетом в отечественных и зарубежных научных кругах. За выдающиеся достижения в области развития отечественной науки Е. И. Марукович награжден в 1999 г. медалью Франциска Скорины, а в 2008 г. – Орденом Почета. Е. И. Марукович лауреат Государственной премии БССР 1990 г. за исследование, разработку и внедрение эффективных ресурсо- и материалосберегающих экологически безвредных технологических процессов получения высококачественных отливок в условиях централизованного производства, лауреат Премии НАН Беларуси 1999 г. за цикл работ по теоретическим основам формирования отливок, лауреат Государственной премии Республики Беларусь 2010 г. за работу «Создание и промышленная реализация принципиально нового метода непрерывно-циклического литья намораживанием высокоизносостойких деталей техники».

От лица ученых и специалистов научно-производственного Холдинга ИПР, редакции и редакции журнала «Горная механика и машиностроение» поздравляю Евгения Игнатьевича Маруковича с юбилеем, желаю ему крепкого здоровья, благополучия и новых творческих успехов.

*Член-корр. НАН Беларуси,  
д-р техн. наук, проф.,  
Председатель совета директоров  
Холдинга ИПР,  
главный редактор журнала  
«Горная механика и машиностроение»  
Прушак В. Я.*

Глубокоуважаемый Евгений Игнатьевич!  
От имени коллектива Учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» и от себя лично разрешите поздравить Вас с замечательным юбилеем – 75-летием со дня рождения!

Ответственный и целеустремленный человек, Вы достигли выдающихся успехов на избранном жизненном пути, заслужили неподдельное уважение у всех, кто не наслышке знает о Вашей многогранной деятельности. Вы широко известны научной общественности не только в Республике Беларусь, но и за ее пределами как один из ведущих ученых в области материаловедения, литейного производства и металлургии. Под Вашим руководством выполнен ряд фундаментальных и практически ориентированных исследований и разработок.

В Вашем лице мы чествуем талантливого организатора и ученого, человека с широким кругозором и активной жизненной позицией. Ваш вклад в науку отмечен высокими правительственными премиями и наградами.

Талант ученого, педагога и организатора позволил Вам сформировать научную школу, воспитать не одно поколение одаренных исследователей, которые по праву называют Вас своим наставником.

От всей души поздравляем Вас, Евгений Игнатьевич, с замечательным юбилеем и желаем новых творческих успехов и новых талантливых учеников, счастья и благополучия Вам, Вашим родным и коллегам!

*Ректор Белорусского государственного  
технологического университета,  
д-р техн. наук, проф. И. В. Войтов*

*Первый проректор Белорусского государственного  
технологического университета,  
академик А. Р. Цыганов*

*Заведующий кафедрой материаловедения  
и проектирования технических систем,  
канд. техн. наук, доцент Д. В. Куис*

Глубокоуважаемый Евгений Игнатьевич!

Примите искренние и сердечные поздравления с 75-летним юбилеем. Ваши достижения в области материаловедения, литейного производства и технологии металлов навсегда вписаны в историю белорусской науки и признаны мировым научным сообществом.

Ваша системная, активная научная деятельность, помноженная на богатый опыт руководителя и наставника, стала настоящим локомотивом для роста и становления молодых ученых. Разработанные Вами и вашей научной школой технологии внедрены и успешно работают во многих странах мира, а их важность и значимость для экономики отмечена множеством высоких наград, почетных званий и знаков отличия. Ваш духовный и творческий задор, энтузиазм и активность неповторимы и являются примером для молодых.

В столь знаменательный день от лица всех работников ГГТУ им. П. О. Сухого и от себя лично желаю Вам крепкого здоровья, долгого жизненного пути, новых творческих успехов, дальнейшего развития вашей научной школы. Добра и благополучия!

*Ректор ГГТУ им. П. О. Сухого,  
д-р техн. наук, доцент  
Путьто А. В.*



## The World Foundry Organization

Dear Friends, I am delighted to be able to celebrate with you the 75th birthday of my esteemed friend Evgeny Ignatievich Marukovic. I have had the pleasure and honour of meeting and spending time with him on the occasions I have been able to visit Belarus. It never ceases to amaze me that Mr Marukovic has time to spend with me when he is such a distinguished and highly recognized individual. His academic record is second to none, with so many published papers, prizes, awards and inventions registered to his name.

Along with his continued support of the industry and through the Belarus member, the World Foundry Organization as well, I am truly in awe of his achievements. I and the whole of the WFO team and fellow foundry people send our very special congratulations and best wishes to Evgeny on this momentous day and look forward to continuing our close and valuable working relationship.

*Yours sincerely*  
*Eur Ing Andrew Turner*  
*FICME General Secretary*

Дорогие друзья, я рад поздравить с 75-летием моего уважаемого друга Евгения Игнатьевича Маруковича. Я имел удовольствие и честь встречаться и проводить с ним время, когда мне удалось посетить Беларусь. Меня никогда не перестает удивлять, что у господина Маруковича находится время на встречу со мной, когда он такой выдающийся и высокопризнанный человек. Его академическая репутация не имеет себе равных, он является автором очень многих научных работ, изобретений и патентов.

Я и вся команда WFO (Всемирная организация литья) и коллеги-литейщики передаем наши поздравления и наилучшие пожелания Евгению в этот знаменательный день и с нетерпением ждем продолжения наших тесных и ценных рабочих отношений.

*Искренне Ваш,*  
*Эндрю Тернер,*  
*Генеральный секретарь*  
*Всемирной организации литья*

Российская ассоциация литейщиков, редакционный совет журнала «Литейщик России», российские ученые и специалисты литейной и металлургической отрасли, коллеги и друзья поздравляют Евгения Игнатьевича Маруковича со славным Юбилеем – 75-летием со дня рождения!

Евгений Игнатьевич является известным ученым и выдающимся специалистом в области металлургии, машиностроения, материаловедения и литейного производства. Его научные труды по кристаллизации и затвердеванию литейных заготовок, формированию микроструктуры литейных сплавов известны во всем мире.

Евгений Игнатьевич разработал и внедрил в производство новые материалы и технологические процессы получения высококачественных отливок из черных и цветных сплавов для различных отраслей промышленности, которые поставляются во многие страны. Научные и практические разработки Евгения Игнатьевича широко используются учеными и производственными специалистами России. Он является постоянным участником съездов литейщиков России и членом редакционного совета журнала «Литейщик России».

Желаем крепкого здоровья, благополучия и дальнейших успехов в научной и практической деятельности на благо развития литейного и металлургического производства Республики Беларусь.

С уважением,  
Президент Российской ассоциации литейщиков,  
Президент Ассоциации литейщиков стран БРИКС,  
д-р техн. наук, профессор,  
Заслуженный металлург Российской Федерации  
Дибров И. А.

22 августа 2021 г. исполнилось 75 лет ведущему литейщику Беларуси, академику НАН Беларуси, доктору технических наук, профессору, лауреату Государственных премий БССР и Республики Беларусь, Заслуженному изобретателю Республики Беларусь, заведующему лабораторией кинетики кристаллизации Института технологии металлов НАН Беларуси Е. И. Маруковичу.

Научная и производственная деятельность Евгения Игнатьевича Маруковича тесно связана с Физико-технологическим институтом металлов и сплавов НАН Украины и Ассоциацией литейщиков Украины. Огромный вклад внес Евгений Игнатьевич в создание и освоение технологических процессов непрерывного литья в Украине, Беларуси и странах бывшего СССР.

Неоценимую помощь оказал Е. И. Марукович при освоении созданных в ФТИМС НАН Украины технологических процессов и оборудования для производства литья по газифицируемым моделям в Республике Беларусь.

Евгений Игнатьевич Марукович активно участвует в подготовке научных кадров высшего звена для нашего института, являясь постоянным оппонентом большого количества наших сотрудников, защищающих диссертации по специальности «Литейное производство».

Созданная Е. И. Маруковичем материаловедческая школа в Институте технологии металлов НАН Беларуси почитаема и широко известна в ФТИМС НАН Украины.

Е. И. Марукович и сегодня активно сотрудничает с нашим институтом и Ассоциацией в реализации совместных научных и прикладных проектов, направленных на экономическое развитие и процветание наших стран.

От имени коллектива Физико-технологического института металлов и сплавов Национальной академии наук Украины, Ассоциации литейщиков Украины сердечно поздравляем Евгения Игнатьевича с Юбилеем и желаем крепкого здоровья, реализации огромного творческого потенциала, дальнейших достижений на научном поприще.

Президент Ассоциации литейщиков Украины,  
д-р техн. наук, профессор  
Шинский О. И.

## Шановний Євгене Гнатовичу!

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

щиро вітає Вас із **75 – річчям** від дня народження!

В цей святковий день ми висловлюємо Вам, шановний Євгене Гнатовичу, почуття глибокої поваги та вдячності за багаторічну плідну працю в галузі ливарного виробництва і сподіваємось, що накопичені Вами знання, творчі напрацювання, великий практичний досвід ще багато років служитимуть економічному і якісному зростанню ливарної та машинобудівної галузі.

Вся Ваша трудова діяльність є прикладом сумлінного ставлення до праці.

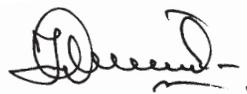
Ваш життєвий шлях є прикладом для молодшого покоління у справі служіння своїй професії. Ваша людяність, ерудиція, професійна майстерність, чуйність та турбота про підлеглих, скромність та наполегливість викликають до Вас любов та повагу всіх, хто Вас знає і оточує.

Хай довгим і щасливим буде Ваш життєвий шлях, а творча наснага та завзятість не залишають Вас!

Зичимо подальших успіхів і плідної праці, міцного здоров'я, щастя та добробуту Вам і Вашим близьким.

З повагою:

Директор Державного  
департаменту ливарного  
виробництва



С.І. Клименко

2021р.  
м. Київ



New Harmony » New Solutions™

www.wagner-sinto.de

Heinrich Wagner Sinto Maschinenfabrik GmbH • Postfach 10 14 64 • D - 57326 Bad Laasphe

Lieber Prof. Dr. Evgeny I. Marukovich,

zu ihrem 75. Geburtstag am 22. August 2021 wünschen wir Ihnen alles Gute, Gesundheit, Freude und Glück. Anstelle eines Trinkspruchs senden wir Ihnen, wie für unsere Kultur üblich, dieses kleine deutsche Gedicht:

Уважаемый профессор д.т.н. Евгений Игнатьевич Марукович!

Примите наши сердечные поздравления по случаю Вашего 75-летия 22 августа 2021 года. Желаем Вам всего наилучшего, здоровья, радости и счастья! Вместо тоста шлем Вам это небольшое немецкое стихотворение, как это принято в нашей культуре.

*Auf 75 Jahre blickst du nun zurück,  
auf manche Sorgen, manches Glück.  
Man muss es einmal deutlich sagen,  
hast viel geschafft in all den Jahren.  
Bist immer da, wenn man Dich braucht,  
und jung geblieben bist Du auch.  
Bleib wie Du bist, treib's nicht zu doll,  
dann machst Du auch die 100 voll.*

(ein deutsches Gedicht)

Вы отмечаете свое 75-летие, и это прекрасный повод, чтобы выразить Вам наше восхищение и уважение. Вы так много достигли за все эти годы! Сохраняйте свою искру и радость к жизни, спасибо за Ваши опыт и советы. Суть поздравления проста: прожить как минимум до 100, в дружеском окружении, любви и уважении!

С уважением и наилучшими пожеланиями

HEINRICH WAGNER SINTO  
Maschinenfabrik GmbH

Ihr HWS Team

*Staub...*  
*...*  
*...*

*S. Sabarfo*  
*Y. Bohmest*  
*3. Gösche*  
*...*



Hausadresse:  
Bahnstraße 101  
D-57334 Bad Laasphe  
Telefon: +49 2752 907-0  
Telefax: +49 2752 907-280  
E-Mail: info@wagner-sinto.de  
Internet: www.wagner-sinto.de

Geschäftsführer:  
Andreas Klein (Sprecher)  
Minoru Hirata  
Atsushi Nagai

Sitz des Unternehmens:  
Bad Laasphe  
Amtsgericht Siegen, HRG 6440  
USt-Id.Nr.: DE 126588752  
Steuer-Nr.: 34215893/0162  
Finanzamt Siegen

Bankverbindungen:  
MUFG Bank (Europe) N.V.  
SWIFT: BOTKDE33  
BIC: BOTKDE33  
IBAN: DE43 3001 0700 0000 5014 20

Sparkasse Wittgenstein, Bad Berleburg  
SWIFT: WELADED033  
BIC: WELADED033  
IBAN: DE48 4605 3480 0000 2750 90





# 中国铸造协会

CHINA FOUNDRY ASSOCIATION

尊敬的马鲁科维奇院士,

值此先生75岁寿诞之际,我谨代表中国铸造协会、金砖国家铸造业联合会,及亚洲铸造业联合会、向您致以衷心的问候。祝愿先生健康长寿,收获更多精深的学术成果。

非常荣幸邀请到先生莅临中国铸造协会2017年年会。先生的专业、睿智和博学给我们留下了深刻印象。白俄罗斯工业基础好,机械制造业和冶金加工业等都比较先进。中白两国铸造业的发展历史深入融通,源远流长,具有广阔的合作空间。

随着“一带一路”建设不断深入,中白两国建立了相互信任、合作共赢的全面战略伙伴关系,两国的发展进入快车道。让我们抓住机遇,不负时代,开展更多科研、培训项目合作,取得更多精深的科研成果,培育更多优秀的行业人才,为两国乃至世界铸造业的发展增添新动能。

感谢您多年来对铸造行业的无私奉献和榜样精神。

再次衷心祝贺您的生日。

此致

敬礼!

中国铸造协会 会长

Уважаемый академик Марукович,

От имени Китайской ассоциации литейщиков, Литейной федерации БРИКС и Азиатской литейной федерация, я хотел бы сердечно поздравить Вас с 75-летием. Желаю Вам крепкого здоровья и долголетия, а также больших успехов в научной работе!

Для меня было большой честью пригласить и видеть Вас на ежегодном собрании Китайской ассоциации литейщиков в 2017 году. Ваш профессионализм, мудрость и эрудиция произвели на меня глубокое впечатление. Беларусь имеет хорошую промышленную базу с развитым машиностроением и металлургической обрабатывающей промышленностью. История развития литейной промышленности в Китае и Беларуси глубоко интегрирована, имеет долгую историю и широкое пространство для сотрудничества. По мере непрерывного углубления строительства «одного пояса и одного пути» Китай и Беларусь установили всеобъемлющее стратегическое партнерство, основанное на взаимном доверии и взаимовыгодном сотрудничестве, и развитие двух стран стало стремительным. Давайте воспользуемся возможностью и проведем больше научных исследований и учебных проектов, получим более глубокие научные результаты и добавим новый импульс развитию литейной промышленности не только в этих двух странах, но и во всем мире.

Спасибо за вашу самоотверженную преданность делу и пример духа для всех в литейной промышленности на протяжении многих лет.

Еще раз поздравляю Вас с юбилеем, примите искренние пожелания!

Президент Китайской ассоциации литейщиков

Чжан Либо



## ООО «Промышленные Решения»

Уважаемый господин Марукович, Я и весь коллектив «Промышленные решения» от души поздравляем Вас с 75-летием! Вы невероятный человек-учитель, учёный и наставник. Для нас большая честь работать с Вами. Желаем крепкого здоровья, долгих лет жизни, новых достигнутых высот, близких людей рядом! Я очень рад знать Вас, человека, не теряющего своей мудрости, а лишь приумножающего ее. Надеюсь на наше долгое сотрудничество и дружбу. Ваш вклад в науку и жизни людей неоценим. Спасибо за всю Вашу поддержку, советы и работу на всеобщее благо!  
С крупной юбилейной датой!

Хань Юйсинь  
ООО «Промышленные решения»  
Представительства Китайской  
ассоциации литейщиков в РФ и странах СНГ



## Polish Foundrymen's Association

Dear Friend!  
On the occasion of the 75th anniversary of your birthday, on behalf of the Polish Foundrymen's Association and our own, we would like to congratulate you and wish you health and all the best on this special occasion.  
We would also like to congratulate you on the significant engineering and scientific achievements in the foundry world, which give you deserved recognition, and for us are the basis for respect and pride.  
We wish you continued fruitful scientific, technical and association activities.  
May this activity leave permanent traces in the history of our companionship and may it be a proof of the true friendship between our associations and between us.

Tadeusz Franaszek  
President of Polish Foundrymen's Association  
Katarzyna Liszka  
General Secretary of Polish Foundrymen's Association

Дорогой Друг!  
По случаю 75-летия вашего дня рождения от имени Ассоциации литейщиков Польши и от нас лично мы хотели бы поздравить Вас и пожелать здоровья и всего наилучшего по этому особому случаю.  
Мы также хотели бы поздравить Вас со значительными инженерными и научными достижениями в литейном мире, которые дают вам заслуженное признание, а для нас являются основой для уважения и гордости.  
Мы желаем вам продолжения плодотворной научно-технической деятельности.  
Пусть эта деятельность оставит неизгладимые следы в истории нашего общения и пусть она станет доказательством истинной дружбы между нашими ассоциациями и между нами.

Тадеуш Франашек  
Президент Ассоциации литейщиков Польши  
Катаржина Лиска  
Генеральный секретарь Ассоциации литейщиков Польши

Dear Evgeny

I used to meet with you before in international conferences and exhibitions and see how you were always surrounded by delegates from Belarus and other countries with all respect and love, I always felt that you may be considered as an Icon for the whole world foundry community. Only when I started coming to Belarus and getting closer to you, I came to know the secret, you are not just a great scientist, but a wonderful person, who always gives hand to young scientists whenever needed.

Evgeny. Very happy birthday. With my best wishes for a long and very happy life. I am proud that I met you and when I look back to your enormous achievements, I wonder, how one person can do all that in only one life.

*Adel Nofal,  
Professor Emeritus at Central Metallurgical  
Research & Development Institute (Egypt)*

Уважаемый Евгений

Я и раньше встречался с Вами на международных конференциях и выставках и видел, как Вас всегда со всем уважением и любовью окружали делегаты из Беларуси и других стран, и я всегда чувствовал, что Вас можно считать иконой для всего мирового литейного сообщества. Только когда я начал приезжать в Беларусь и сближаться с вами, я узнал секрет – Вы не просто великий ученый, а замечательный человек, который всегда протягивает руку молодым ученым, когда это необходимо.

Евгений. Желаю очень счастливого дня рождения. С наилучшими пожеланиями долгой и очень счастливой жизни. Я горжусь тем, что встретил Вас, и когда я оглядываюсь на Ваши огромные достижения, я удивляюсь, как один человек может сделать все это всего за одну жизнь.

*Адель Нофал,  
Профессор научно-исследовательского  
и опытно-конструкторского института (Египет)*



**STU**

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ  
UNIVERZITA V BRATISLAVE**

От имени литейщиков Словацкой Республики и по поручению работников кафедры «Литейное производство и порошковая металлургия» Словацкого технического университета и от себя лично сердечно поздравляем выдающегося белорусского ученого-литейщика, академика НАН РБ, д-ра техн. наук, профессора Евгения Игнатьевича Маруковича с 75-летним юбилеем!

Желаем юбиляру стального здоровья, постоянного счастья, первичных и вторичных творческих успехов, непрерывной бодрости духа в сочетании с оптимальной прочностью и вязкостью душевного и физического состояния!

*Профессор кафедры «Литейное  
производство и порошковая металлургия»  
Словацкого технического университета,  
д-р техн. наук, профессор  
Александр Чаус*

Дорогой Евгений Игнатьевич!  
От всей души поздравляю с Юбилеем!

Поздравляю с Днем рождения и желаю вдохновения!  
Пусть наука дарит силы, радость, бодрость, озарение.  
Вам желаю я успехов, новых творческих побед  
И в профессии любимой много продуктивных лет.

*Заслуженный деятель науки,  
д-р техн. наук, профессор  
Н. А. Свидунович*

### **АКАДЕМИКУ МАРУКОВИЧУ – 75!**

Хоть тело стареет  
И подводит иногда,  
В 75 душа ученого  
Энергична и молода.

В 75 лет ученым еще  
Не пройдена жизни дорога.  
Большой научный опыт —  
Венец ученого-педагога.

Ученики поздравляют юбиляра,  
Аплодируют и жмут ему руки,  
Желают здоровья и успехов  
Герою белорусской науки.

Он имеет много наград,  
Две Государственные премии.  
Академик Марукович —  
Гордость нашей Академии!

*Владимир Стеценко*

# С юбилеем!

## Игорь Аркадьевич ИВАНОВ

*(к 60-летию со дня рождения)*



9 августа 2021 г. исполнилось 60 лет со дня рождения доктору технических наук, профессору, декану механико-технологического факультета Белорусского национального технического университета И. А. Иванову.

И. А. Иванов окончил физико-технический факультет Томского государственного университета им. В. В. Куйбышева в 1984 г. После окончания университета работал младшим научным сотрудником в НИИ прикладной математики и механики при Томском государственном университете, с 1986 по 1993 г. – в Физико-техническом институте НАН Беларуси. Прошел путь от старшего инженера до научного сотрудника. Без отрыва от производства поступил в аспирантуру в ноябре 1989 г., которую досрочно окончил в ноябре 1992 г., защитив кандидатскую диссертацию по специальности 05.02.08 «Технология машиностроения». Доктор технических наук с 2000 г. Звание профессора по специальности «Технология» И. А. Иванову присвоено ВАК Республики Беларусь в сентябре 2007 г.

В системе высшего образования Игорь Аркадьевич работает с 1995 г. С 1995 по 2000 г. – в должности доцента, а затем профессора Белорусского государственного аграрного технического университета. В этом же университете работал в должности заместителя декана по воспитательной работе, в марте 2000 г. был назначен ученым секретарем Совета университета. В 2000–2001 гг. И. А. Иванов работал проректором по учебной работе Белорусского института повышения квалификации и переподготовки кадров Госстандарта Республики Беларусь. С февраля 2001 г. работает в Белорусском национальном техническом университете. С апреля 2003 г. – в должности заведующего кафедрой «Основы машиностроительного производства и профессиональное обучение». В 2005 г. при непосредственном участии И. А. Иванова в БНТУ была открыта подготовка инженеров по специальности 1–36 20 04 «Вакуумная и компрессорная техника». В ноябре 2008 г. Игорь Аркадьевич возглавил одноименную кафедру – «Вакуумная и компрессорная техника». При его непосредственном участии открыта подготовка по направлению «Профессиональное обучение (Автомобильный транспорт)» и по специальности «Аддитивные технологии в литейном производстве». И. А. Иванов автор (в составе творческого коллектива) двух образовательных стандартов и двух электронных методических пособий по оформлению дипломных проектов и выполнению раздела «Охрана труда» в дипломных проектах. Член УМО вузов Республики Беларусь в области металлургического оборудования и технологий, ранее член президиума УМО вузов Республики Беларусь в области машиностроительного оборудования и технологий. В декабре 2013 г. И. А. Иванов назначен деканом механико-технологического факультета БНТУ.

И. А. Иванов является ученым-специалистом в области численного моделирования и разработки технологических процессов вакуумно-плазменного упрочнения сталей и сплавов. Он руководит госбюджетными научно-исследовательскими работами, выполняемыми по приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь в рамках ГПНИ «Механика, металлургия, диагностика в машиностроении» и ГПНИ «Энергетические системы, процессы и технологии». Им опубликовано более 200 научных работ, из которых две монографии, шесть патентов и авторских свидетельств на изобретения, 20 учебных и учебно-методических работ, в том числе три с грифом УМО и одно на английском языке. Делегат I и Пъездов ученых Республики Беларусь. Член научных собраний по рассмотрению диссертационных работ машиностроительного и механико-технологического факультетов. И. А. Иванов входил в состав специализированного совета по защите диссертаций К 02.19.02. по специальности

01.04.13 «Электрофизика, электрофизические установки» при Полоцком государственном университете. Является членом редакционной коллегии журнала «Литье и металлургия». Главный редактор Республиканского межведомственного сборника научных трудов «Металлургия». Член экспертного совета Министерства промышленности Республики Беларусь, секция № 2 «Оптика и вакуумная технология».

И. А. Иванов организует научно-исследовательскую работу в подразделениях, активно занимается преподавательской деятельностью и совершенствованием образовательного процесса подготовки высококвалифицированных специалистов как I, так и II ступеней высшего образования.

Под руководством И. А. Иванова на факультете ведется системная работа по открытию филиалов кафедр факультета на ведущих предприятиях Республики Беларусь, по укреплению связей с УССО. Разработаны интегрированные учебные планы по трем специальностям факультета как для дневной, так и заочной формы обучения. Проведена работа по разработке учебно-программной документации. На факультете под непосредственным руководством И. А. Иванова ведется работа по расширению экспорта образовательных услуг. Под его руководством разработаны учебные планы совместных образовательных программ с Ташкентским государственным техническим университетом.

Кроме чтения лекций и проведения практических занятий, Игорь Аркадьевич активно занимается подготовкой магистрантов и аспирантов. Под его руководством опубликовано более 40 студенческих докладов на конференциях республиканского уровня. Ряд научно-исследовательских работ студентов награждены дипломами Республиканского конкурса НИРС II и III категорий. И. А. Иванов в настоящее время является председателем ежегодной Республиканской студенческой научно-технической конференции «Новые материалы и технологии их обработки». По результатам работы конференции механико-технологической факультет ежегодно представляет не менее 15 студенческих научных работ на республиканский конкурс. По инициативе И. А. Иванова с 2018 г. утверждена ежегодная научно-практическая интернет-конференция студентов, магистрантов «Литье и металлургия». И. А. Иванов – сопредседатель данной конференции. Под его руководством защищены две кандидатские диссертации и подготовлены четыре магистранта.

Поэтому закономерно, что результаты успешной организационной, научной, педагогической и воспитательной работы И. А. Иванова отмечены Государственной наградой медалью «За трудовые заслуги» (2020 г.) и нагрудным знаком «Отличник образования» (2015 г.).

Игорь Аркадьевич – хороший семьянин, пользуется заслуженным уважением и авторитетом среди коллег и студентов университета.

Искренне поздравляем Вас, Игорь Аркадьевич, с юбилеем и желаем крепкого здоровья, новых творческих успехов, счастья и благополучия.

Родился в северных широтах,  
Из Инты в Томск судьба вела.  
В житейских буднях и заботах  
Сибирь закалку вам дала.  
Теперь Вы доктор и профессор,  
Декан, носитель госнаград,  
Отец заботливый и в целом  
Достоинств обладатель ряд.  
Здоровья, счастья Вам желаем,  
В дальнейшем точно так держать.  
И в каждом деле прибавляя,  
Больших успехов достигать!

*Ф. И. Пантелеенко,  
чл.-корр. НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф.,  
зав. кафедрой «Порошковая металлургия,  
сварка и технология материалов» БНТУ  
Редакция журнала «Литье и металлургия»,  
Ассоциация литейщиков и металлургов*

# С юбилеем!

## Станислав Степанович ТКАЧЕНКО

*(к 85-летию со дня рождения)*



21 августа исполняется 85 лет доктору технических наук, заслуженному металлургу РФ, президенту «Союза литейщиков Санкт-Петербурга» Станиславу Степановичу Ткаченко.

После окончания металлургического факультета Ленинградского горного института им. Плеханова в 1959 г. Станислав Степанович работал на ленинградских заводах – им. К. Маркса, «Станколит» и ЛСПО им. Свердлова инженером-технологом, начальником техбюро, литейного цеха, главным металлургом, главным инженером литейного завода. За 25 лет работы на заводах С.С. Ткаченко приобрел бесценный опыт освоения новых технологий производства высококачественных чугунных отливок для машиностроения, в том числе оригинальных экологически чистых процессов с ХТС на алюмоборфосфатном концентрате (ФОСКОН-процесс). В его активе десятки авторских свидетельств, патентов, рацпредложений. Научные интересы Станислава Степановича связаны с созданием и освоением новых принципов изготовления базовых композиционных отливок станков. Им опубликовано около 200 печатных трудов. Станислав Степанович – академик МАНЭБ, член Совета директоров и экспертного совета Ассоциации «Станкоинструмент», член Редсовета журнала «Литейное производство».

С 1986 г. С. С. Ткаченко был главным инженером, с 1992 г. – директором Всесоюзного проектно-технологического института литейного производства, а с 1995 г. – генеральным директором ОАО «ПТИлитпром». В этих должностях он проявил себя высококвалифицированным специалистом, прекрасным организатором производства, требовательным к себе и подчиненным. Под его руководством был выполнен ряд важнейших работ по техническому перевооружению литейных цехов, оснащению заводов-центролитов современным оборудованием и средствами механизации, освоению новых техпроцессов, например, вакуум-пленочной технологии, синтетических чугунов, новых модификаторов и т. п.

Редакция журнала «Литье и металлургия», Ассоциация литейщиков и металлургов Республики Беларусь поздравляют Станислава Степановича с юбилеем и желают ему крепкого здоровья и успехов в работе.

# С юбилеем!

## Александр Михайлович ЛАЗАРЕНКОВ

(к 75-летию со дня рождения)



Самые теплые пожелания в День рождения Александра Михайловича Лазаренкова!

26 июля исполнилось 75 лет Александру Михайловичу Лазаренкову – заведующему кафедрой «Охрана труда», доктору технических наук, профессору Белорусского национального технического университета.

С 1968 г. А. М. Лазаренков работает в БНТУ, с 1975 г. – на кафедре «Охрана труда». С марта 1999 г. по настоящее время возглавляет эту кафедру.

А. М. Лазаренков – автор более 339 научных работ, в том числе пяти авторских свидетельств и патентов на изобретения, одной монографии, семи учебников и 11 учебных пособий с грифом Министерства образования Республики Беларусь, двух лабораторных практикумов, 72 учебно-методических разработок по основным направлениям подготовки и переподготовки инженерно-экономических кадров страны. На высоком методическом и научном уровне ведет лекционные, практические и лабораторные занятия, руководит оформлением дипломов студентов литейных и металлургических специальностей, является членом Государственной экзаменационной комиссии, членом Совета по защите диссертаций.

Александр Михайлович – член Международной академии экологии и безопасности жизнедеятельности (Россия, Санкт-Петербург), объединяющей ученых из России, Беларуси, Украины, Армении, Азербайджана, стран Балтии и Болгарии, член научно-технического совета по охране труда при Министерстве труда и социальной защиты Республики Беларусь, совета механико-технологического факультета, редколлегии национального журнала «Охрана труда и социальная защита».

А. М. Лазаренков разработал образовательный стандарт, пять типовых учебных программ по дисциплине «Охрана труда» для высших учебных заведений Республики Беларусь. Большое внимание уделяет совершенствованию организации научно-исследовательской деятельности вуза, интеграции науки, образования и производства. Взаимодействует с научными учреждениями Министерства здравоохранения Республики Беларусь, а также с промышленными предприятиями для комплексной оценки условий труда в различных отраслях промышленности.

Под его руководством в 2001 г. подготовлена и защищена кандидатская диссертация по вопросам снижения загрязнения окружающей среды выбросами энергокомпаний Солигорского района.

В 2002 г. А. М. Лазаренкову распоряжением Президента Республики Беларусь была установлена персональная надбавка за значительный вклад в развитие высшего образования.

За свои достижения он награжден Почетной грамотой Совета Министров Республики Беларусь (2010 г.), тремя Почетными грамотами Министерства образования (1984, 1987, 2003 гг.), Почетной грамотой Министерства труда и социальной защиты (2003 г.), неоднократно – Почетными грамотами БПИ, БГПА и БНТУ, нагрудными знаками Министерства образования Республики Беларусь «Отличник образования» (2015 г.), занесен на Доску почета БНТУ (2020 г.).

От всей души желаем Вам, дорогой Александр Михайлович, процветания в каждом деле, успешных завершений всех начинаний, счастливых случаев и добрых историй судьбы, стабильного благополучия в деятельности и полного достатка в жизни.

Мы ценим и благодарим Вас за все, что Вы для нас делаете!

*Коллективы кафедр «Охрана труда» и МиТЛП,  
Редакция журнала «Литье и металлургия»,  
Ассоциация литейщиков и металлургов РБ*

# С юбилеем!

## Леонид Сергеевич ДЕНИСОВ

(к 90-летию со дня рождения)



Леонид Сергеевич Денисов родился 15 июня 1931 г. в с. Жерелево Куйбышевского района Калужской области. В 1951 г. окончил Московский сварочный техникум и начал трудовую деятельность мастером сборочно-сварочного цеха на заводе «Строймаш» (г. Кемерово).

В 1951–1954 гг. проходил службу в Вооруженных Силах СССР (о. Сахалин). В 1962 г. окончил Всесоюзный заочный машиностроительный институт по специальности «Оборудование и технология сварочного производства».

В 1977 г. защитил кандидатскую диссертацию, в 1991 г. – докторскую диссертацию.

С 1955 г. работает старшим инженером Республиканской лаборатории по сварке и контролю треста «Росгазстрой» (г. Москва).

В дальнейшем на протяжении всей научно-производственной деятельности на самых высоких ответственных должностях работа Леонида Сергеевича неразрывно связана с ключевой проблемой в сварочном производстве – обеспечение высокого качества сварных соединений.

По заданию Правительства СССР в связи с масштабной газификацией БССР в 1959 г. Леонида Сергеевича переводят в г. Минск начальником лаборатории по сварке и техническим испытаниям – главным сварщиком треста № 24 «Газстрой» Министерства строительства БССР. В дальнейшем вся его жизнь и работа связаны с Беларусью.

Основные вехи его трудовой деятельности:

- с 1967 г. – руководитель объединенной лаборатории по контролю сварочных и изоляционных работ Минмонтажспецстроя БССР (с 1973 г. – «Белпромналадка»);
- с 1988 по 1992 г. – начальник отдела и заведующий лабораторией по сварке и контролю управления качества Института «Белстройнаука» Госстроя БССР;
- с 1992 г. – заместитель директора Института сварки и защитных покрытий;
- с 2007 по 2013 г. – профессор кафедры «Порошковая металлургия, сварка и технология материалов» Белорусского национального технического университета;
- с 2001 г. – научный консультант по сварке, контролю и управлению качеством Спецтреста «Стройкомплекс».

Леонид Сергеевич Денисов – известный ученый, ведущий в Республике Беларусь специалист в области сварочного производства, управления качеством сварных соединений в частности.

Основное направление его научно-производственной деятельности по тематике связано с разработкой и внедрением новых методов неразрушающего контроля сварных соединений, в том числе акустического, радиационного, магнитографического, синхронизацией темпов и непрерывностью сварочных работ и контроля для крупнейших объектов большой химии, нефтепереработки, промышленности, газификации, стройиндустрии, разработкой принципов, методологии и системы анализа уровня качества и управления качеством сварных соединений, изданием концепции развития сварочного производства в Республике Беларусь до 2025 г. Ключевые положения его разработок обобщены в серии монографий и учебных пособий, в том числе «Контроль и управление качеством сварочных работ», «Основы обеспечения бездефектной сварки».

Необходимо отметить уникальные способности Л. С. Денисова – ученого, педагога, организатора в СССР и Беларуси лабораторий, центров, институтов и филиалов по контролю сварных соединений, разработки и деятельность которого позволили значительно снизить уровень брака и повысить эффективность сварочного производства, в том числе на таких крупнейших предприятиях,

как Томский химический комбинат, Саратовский НАК-150, Мозырский и Новополоцкий НПЗ, Гродненское ПО «Азот», Гомельский химзавод, Могилевский комбинат синтетического волокна, в трубопроводном транспорте, предприятиях стройиндустрии.

Леонид Сергеевич занимается популяризацией научных разработок в области повышения качества сварных соединений, является заместителем председателя Белорусского инженерного общества, председателем научно-производственной секции «Сварка и родственные технологии», академиком БИА, членом Межведомственного координационного совета Республики Беларусь по сварке, организатором на протяжении последних восьми лет ежегодных конференций и семинаров «Эффективная сварка: качество, безопасность и ресурсосбережение», организатором и председателем оргкомитета с 2005 г. ежегодного Республиканского конкурса сварщиков.

Свой опыт и знания Леонид Сергеевич стремится передать молодежи, читал лекции по различным дисциплинам сварочного производства в Белорусском национальном техническом университете, является членом совета по защите диссертаций по сварочной специальности в Белорусско-Российском университете.

Основные результаты научно-технических разработок Л.С. Денисова опубликованы более чем в 450 научных работах, в том числе монографиях, патентах.

Результаты труда Леонида Сергеевича отмечены многими наградами: медалью «За доблестный труд»; тремя золотыми медалями ВДНХ СССР, премией Совета Министров БССР, Почетными Грамотами ряда Министерств и ведомств, в том числе Министерства монтажных и специальных строительных работ СССР, Минстройархитектуры, Комитета по надзору за безопасным ведением работ в промышленности и атомной энергетике при МЧС РБ, ГКНТ БССР, нагрудным знаком «За заслуги в строительстве», благодарственными письмами академика Патона Б.Е., кафедры сварки МВТУ им. Н.Э. Баумана и др.

Редакция журнала «Литье и металлургия», Ассоциация литейщиков и металлургов Республики Беларусь сердечно поздравляют Леонида Сергеевича со славным юбилеем и желают доброго здоровья, творческого долголетия.

# С юбилеем!

## Анвер Борисович СТЕБЛОВ

*(к 70-летию со дня рождения)*



15 июня 2021 г. исполнилось 70 лет Анверу Борисовичу Стеблову, заведующему научно-исследовательской лабораторией ресурсосбережения, инноваций и трансфера технологий в металлургии ОАО «БЕЛНИИЛИТ», доктору технических наук, лауреату Государственной премии Республики Беларусь.

В 1968 г. Анвер Борисович закончил школу и начал работать на Нижнетагильском металлургическом комбинате, совмещая с учебой на вечернем отделении Уральского политехнического института. Днем он в качестве пробоотборщика работал в прокатном цехе, а вечером постигал науку металлурга. За трудовые достижения и успехи в учебе после третьего курса, в 20 лет, его назначают инженером теплотехнической лаборатории, а после получения диплома прокатчика – старшим инженером прокатной лаборатории. Свою работу и учебу он совмещал с активной общественной деятельностью председателя прокатной секции Совета молодых специалистов Нижнетагильского металлургического комбината и заместителя секретаря городского комитета комсомола по работе с молодыми специалистами и учеными города. Сразу после окончания института он оформляется соискателем и начинает работу над кандидатской диссертацией, продолжая учебу на заочном отделении Института прикладной математики в Свердловске, который заканчивает в 1979 г. После успешной защиты кандидатской диссертации в 1984 г. по специальности прокатное производство А. Б. Стеблов работает начальником группы, а затем – начальником комплексной лаборатории управления качеством продукции на Нижнетагильском металлургическом комбинате. В области управления качеством он становится специалистом, разработки которого были отмечены медалями ВДНХ СССР всех степеней. В 1987 г. заканчивает заочное отделение финансово-экономического института в Ленинграде, а в марте 1988 г. приказом по МЧМ СССР его направляют на Белорусский металлургический завод в г. Жлобин. Начав на заводе работу в должности заместителя начальника технического отдела, Анвер Борисович через полгода становится начальником техотдела и в этой должности без отрыва от производства в 1993 г. защищает докторскую диссертацию по двум специальностям: металлургия черных металлов и обработка металлов давлением. В 1998 г. А. Б. Стеблов стал лауреатом Государственной премии Республики Беларусь за цикл работ в области ресурсосбережения и теплофизики. Проработав на заводе в должностях заместителя главного инженера по реконструкциям, помощника генерального директора завода по технологии и развитию, он в 2003 г. приходит в БНТУ, где работает главным научным сотрудником в лаборатории проблем металлургических технологий и профессором на кафедре с чтением курса «Математическое моделирование». В июле 2005 г. он получает приглашение на работу по проекту строительства металлургического мини-завода и работает главным научным сотрудником АКХ «ВНИИМЕТМАШ», затем замдиректора Металлургмаша (г. Москва). При его участии строится и начинает работать Ярцевский мини-металлургический завод. Вернувшись в Беларусь в июле 2015 г., А. Б. Стеблов продолжает работать на различных инжиниринговых предприятиях и принимает участие в качестве разработчика и руководителя 40 проектов, которые отражены на сайте [www.Steblov.ru](http://www.Steblov.ru). За время работы и научной деятельности им опубликовано 7 монографий, более 220 печатных работ и внедрено 87 изобретений. В прошлом спортсмен с многолетним стажем занятий в различных школах восточных единоборств, Анвер Борисович в настоящее время продолжает активную практическую и научную работу в ОАО «БЕЛНИИЛИТ», сочетая ее с воспитанием внуков, увлечением живописью и поэзией.

Редакция журнала «Литье и металлургия», Ассоциация литейщиков и металлургов РБ поздравляют Анвера Борисовича Стеблова с юбилеем и желают крепкого здоровья, благополучия, долгих лет жизни и заслуженного признания, больших творческих свершений.



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-29-34>  
УДК 620.19

Поступила 10.08.2021  
Received 10.08.2021

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРЫВОВ ТИПА «ИСКРЕНИЕ» ТОНКОЙ ЛАТУНИРОВАННОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ МЕТАЛЛОКОРДА И РУКАВОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ И ПРИЧИН ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

Е. С. СЕРЕГИНА, Т. Н. АЮПОВА, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: [nmg.czl@bzmz.gomel.by](mailto:nmg.czl@bzmz.gomel.by). Тел. +375–2334–56587

*Исследованы обрывы тонкой латунированной проволоки для металлокорда и рукавов высокого давления типа «искрение» и причины их образования. Проволоку изготавливали на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» в условиях сталепроволочных цехов. Исследованы внешний вид и микроструктура обрывов тонкой латунированной проволоки типа «искрение». В результате анализа внешнего вида и микроструктуры обрывов предположили, что поверхностные дефекты образуются на латунированной проволоке-заготовке во время выполнения соединения сваркой в губках сварочного аппарата при отжиге. Для подтверждения проведены эксперименты с выполнением сварных соединений латунированной проволоки-заготовки на участках мокрого волочения, исследованы внешний вид и микроструктура полученных образцов сварных соединений.*

*В результате экспериментов и металлографических исследований подтвердили предположение, что локальные дефекты типа «прижог от искрения» на поверхности проволоки-заготовки образуются в процессе выполнения сварки во время операции отжига, установили, что причиной является нарушение контакта между проволокой и прижимными губками сварочного аппарата, износ прижимных губок. Приведены фотографии дефекта, описание его внешнего вида и микроструктуры.*

*На основе проведенных исследований был выполнен ряд мероприятий, направленных на устранение причин данного дефекта.*

**Ключевые слова.** Тонкая латунированная проволока, проволока-заготовка, обрыв проволоки, поверхностный дефект, тип «искрение», прижог от искрения, стереоскопический микроскоп, микроструктура, мартенсит, сварной шов, губки сварочного аппарата, отжиг, износ.

**Для цитирования.** Серегина, Е. С. Исследование обрывов типа «искрение» тонкой латунированной проволоки для металлокорда и рукавов высокого давления и причин их образования / Е. С. Серегина, Т. Н. Аюпова // Литье и металлургия. 2021. № 3. С. 29–34. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-29-34>.

## INVESTIGATION OF BREAKS OF THE “SPARKING” TYPE OF BRASS-PLATED WIRE FOR METAL CORD AND HIGH-PRESSURE HOSES AND THE CAUSES OF THEIR FORMATION

E. S. SEREGINA, T. N. AYUPOVA, OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC”, Zhlobin, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: [nmg.czl@bzmz.gomel.by](mailto:nmg.czl@bzmz.gomel.by). Tel. +375–2334–56587

*The article examines the breaks of thin brass-plated wire for metal cord and high-pressure hoses of the “sparking” type and the causes of their formation. The wire was manufactured in OJSC “BSW”- the Management Company of the Holding” BMC “ in the conditions of steel-wire workshops. The appearance and microstructure of breaks of thin brass-plated wire of the “sparking” type are investigated. As a result of the analysis of the appearance and microstructure of the breaks, it was assumed that surface defects are formed on the brass-plated wire – billet during the welding connection in the jaws of the welding machine during annealing. To confirm this, experiments were carried out with the implementation of welded joints of brass – plated wire-blanks in wet drawing areas, the appearance and microstructure of the obtained samples of welded joints were studied.*

*As a result of experiments and metallographic studies, the assumption during welding that local defects such as “cauterization from sparking” on the surface of the workpiece wire are formed during welding during the annealing operation, it was established that the cause is a violation of contact between the wire and the pressure jaws of the welding machine, wear of the pressure jaws. Photos of the defect, a description of its appearance and microstructure are given.*

*Based on the obtained studies, a number of measures were carried out aimed at eliminating the causes of this defect.*

**Keywords.** Thin brass – plated wire, blank wire, wire breakage, surface defect, “sparking” type, cauterization from sparking, stereoscopic microscope, microstructure, martensite, weld, welding machine sponges, annealing, wear.

**For citation.** SerEGINA E. S., AYUPOVA T. N. Investigation of breaks of the «Sparking» type of brass-plated wire for metal cord and high-pressure hoses and the causes of their formation. Foundry production and metallurgy, 2021, no. 3, pp. 29–34. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-29-34>.

В номенклатуре изделий, выпускаемых ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», особое место занимает продукция цехов сталепроволочного производства – металлокорд, бронзирванная бортовая проволока для армирования автомобильных шин и латунированная проволока для армирования рукавов высокого давления (РВД). Продукция предприятия пользуется высоким спросом в мире благодаря своим качественным характеристикам. Качество продукции обеспечивается на всех стадиях производства за счет высокого уровня автоматизации и оснащенности оборудованием, квалифицированного персонала, применения современных методов контроля качества. Производство проволоки тонких диаметров (0,15–0,8 мм) от выплавки стали до готовой продукции представляет собой особенно сложный процесс, так как незначительное несоответствие или дефект приводит к обрывам при ее производстве. Кроме основных методов контроля технологических процессов и качественных характеристик продукции, на заводе проводятся исследования обрывов проволоки, которые происходят в текущем производстве, анализ причин обрывности, разрабатываются мероприятия по результатам анализа.

Основными методами анализа видов и причин выявляемых дефектов являются оценка внешнего вида обрыва, качества поверхности и исследования микроструктуры проволоки. Многообразие дефектов, выявляемых при производстве проволоки для металлокорда и РВД, имеющих порой схожий внешний вид, создает определенные трудности при их идентификации. Сложным является определение происхождения дефектов проволоки, так как, кроме технологических факторов метизного производства (подготовка поверхности, волочение, термообработка, нанесение покрытия), необходимо учитывать влияние металлургического передела (разливка стали, горячий прокат). Эти трудности возрастают с каждым этапом производственного цикла. Трансформация дефектов, протекающая при волочении и термообработке проволоки, значительно усложняет идентификацию наблюдаемых дефектов. Поэтому одним из необходимых условий достоверного определения вида дефекта и его причины является одновременное исследование дефектной проволоки и исходной проволоки-заготовки. Определение характерных для каждого дефекта особенностей, их сопоставление с ранее установленными признаками позволяют идентифицировать исследуемый дефект [1].

В настоящей статье представлено исследование происхождения поверхностных дефектов тонкой латунированной проволоки для металлокорда и РВД после мокрого волочения по их внешнему виду и микроструктуре, определение причин образования дефектов экспериментальным методом с выполнением сварных соединений латунированной проволоки-заготовки в различных условиях и металлографическим исследованием образцов полученных сварных соединений. Исследования проводили в металлографической лаборатории производства металлокорда № 1 центральной заводской лаборатории.

Одним из видов обрывов тонкой латунированной проволоки по причине наличия на ней поверхностных дефектов является обрыв типа «искрение» [2]. При исследовании под стереоскопическим микроскопом обрыв типа «искрение» представляет собой хрупкий излом проволоки по разволоченным поверхностным трещинам локального характера, расположенным по одной образующей (рис. 1). При этом проволока в зоне локальных трещин или по всей поверхности имеет отбеленный цвет, характерный для участков с отсутствием латунного покрытия.



Рис. 1. Внешний вид хрупкого разрушения по поверхностным трещинам. х25

В микроструктуре обрыва типа «искрение» на поверхности тонкой латунированной проволоки в зоне разрушения и поверхностных трещин наблюдаются локальные участки со структурой мартенсита, глобулярный цементит в переходной зоне (рис. 2).

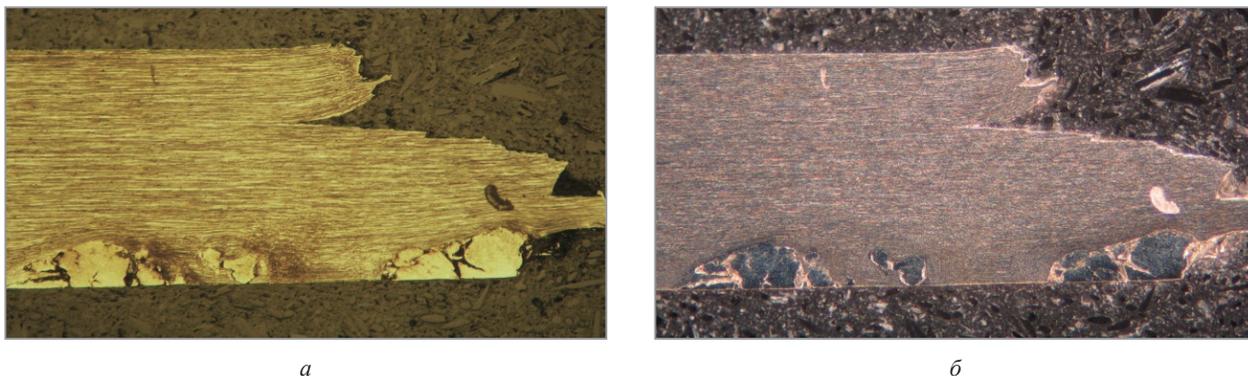


Рис. 2. Локальные участки мартенсита в микроструктуре обрывов тонкой латунированной проволоки, продольное сечение, травление в реактиве Нитал: *а* – светлое поле; *б* – темное поле. х65

Хрупкое разрушение и обрыв проволоки типа «искрение» происходят на стадии волочения, свивки в металлокорд, при переработке у потребителя по поверхностным трещинам, образовавшимся в зоне мартенситной структуры, по причине высокой твердости мартенсита по сравнению с перлитной структурой проволоки, при разной деформируемости микроструктур вследствие структурной неоднородности.

Одной из известных причин образования указанного дефекта является наличие на латунированной проволоке-заготовке поверхностного дефекта в виде прижога от искрения (рис. 3), образующегося в результате точечного термического воздействия на стадии термодиффузии покрытия на установках патентирования – латунирования с электроконтактным нагревом [2].

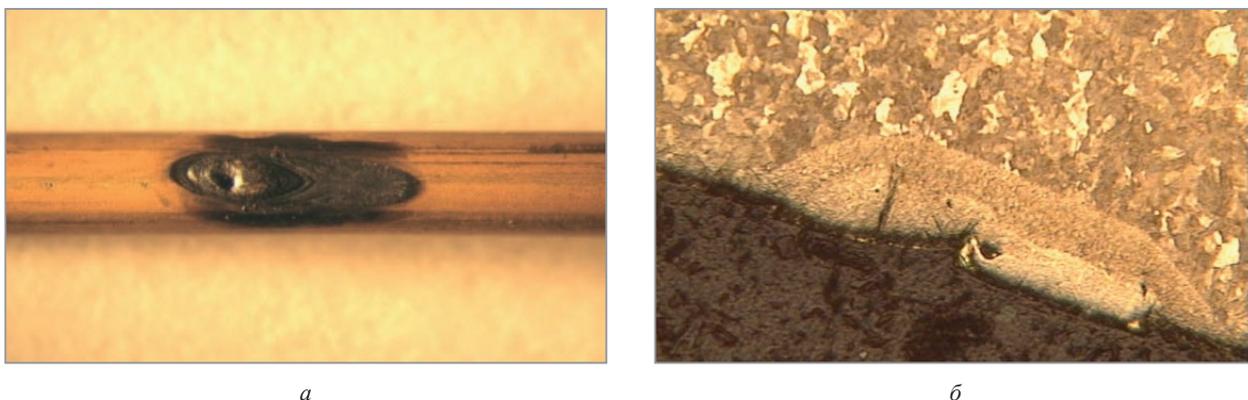


Рис. 3. Поверхностный дефект типа «прижог от искрения» на латунированной проволоке-заготовке: *а* – внешний вид. х6,5; *б* – микроструктура мартенсита в зоне оплавления и глобулярного цементита в переходной зоне, поперечное сечение, травление в реактиве Нитал. х200

Однако в процессе исследования обрывов тонкой латунированной проволоки типа «искрение» было установлено, что на некоторых образцах, кроме характерных признаков внешнего вида и микроструктуры, перечисленных выше, имеются особенности: цвет проволоки в месте разрушения обычный соломенно-желтый, а на расстоянии 30–60 см от обрыва на локальном участке длиной 50–140 см проволока отбеленная, отсутствует латунное покрытие, наблюдаются поверхностные микротрещины. Указанные отличительные признаки свидетельствует о том, что отбеленный участок является разволоченным участком сварного соединения проволоки-заготовки, зона зачистки абразивом. Это самая дефектная зона сварного шва, обычно в ней происходят обрывы проволоки. В исследуемых же обрывах типа «искрение» поверхностные трещины, вызвавшие разрушение, находятся на расстоянии 30–60 см от зоны зачистки. В результате анализа внешнего вида и микроструктуры таких обрывов тонкой проволоки предположили, что дефект образуется на латунированной заготовке при выполнении операции отжига сварного соединения в прижимных губках сварочного аппарата. Именно при отжиге, так как в случае образования локальных участков мартенсита на предшествующих стадиях процесса сварки мартенсит при отжиге перекристаллизовался бы в перлит, в прижимных губках при отжиге, так как поверхностные дефекты, вызывающие обрыв, находятся вне зоны зачистки абразивом, а рядом с ней, на расстоянии 30–60 см.

Чтобы минимизировать и предотвращать обрывы проволоки, важно и необходимо определять конкретную причину их возникновения. Причины и условия образования поверхностного дефекта типа «прижог от искрения» на этапе соединения сваркой латунированной заготовки ранее не были достаточно исследованы и известны. Для проверки и подтверждения предположения об образовании дефекта в прижимных губках при отжиге, а также для определения других возможных причин образования дефекта на участке мокрого волочения были проведены эксперименты с выполнением сварок латунированной проволоки-заготовки. Чтобы получить указанный дефект на проволоке, установить условия его образования, соединения сваркой выполняли на различных сварочных аппаратах как в соответствии с установленными требованиями к технологическому процессу, так и с нарушениями требований. Затем полученные сварные соединения исследовали на наличие дефекта.

Соединение сваркой на этапе мокрого волочения выполняют при замене латунированной проволоки-заготовки, замене волочильного инструмента, обрывах проволоки. Процесс сварки проводится соединением встык проволок, разогревом их электроконтактным способом до оплавления в зоне стыка и состоит из следующих технологических операций:

- подготовка концов проволоки к сварке (отрезается специальными ножницами, чтобы поверхность резки была перпендикулярна оси проволоки);
- установка свариваемых концов проволоки в зажимы сварочного аппарата и их центровка между собой;
- выбор режима сварки и настройки сварочного аппарата;
- стадия сварки;
- отпуск сварной зоны (нагрев до 500–600 °С);
- зачистка сварного шва абразивом с помощью шлифовального круга;
- отжиг сварной зоны (нагрев до 900–1000 °С);
- зачистка оксидной пленки на поверхности сварного шва наждачной бумагой.

При проведении эксперимента были допущены следующие несоответствия требованиям:

- плохой контакт торцов проволоки в месте стыка на стадии сварки;
- плохой контакт в прижимных губках при сварке;
- смещение проволоки от центра при закреплении ее в губках для отжига;
- плохой контакт проволоки в губках при отжиге (недостаточно затянуты винты регулировки верхнего зажима; удерживание проволоки вручную без контакта с верхним зажимом).

При исследовании с помощью стереоскопического микроскопа внешнего вида образцов сварных соединений, полученных в результате экспериментов, установлено, что проволока имеет локальные оплавления поверхности в виде «прижогов от искрения» (рис. 4) в случае плохого контакта ее с прижимными губками во время отжига. Прижоги расположены на расстоянии 2–4 см от центра сварного соединения.

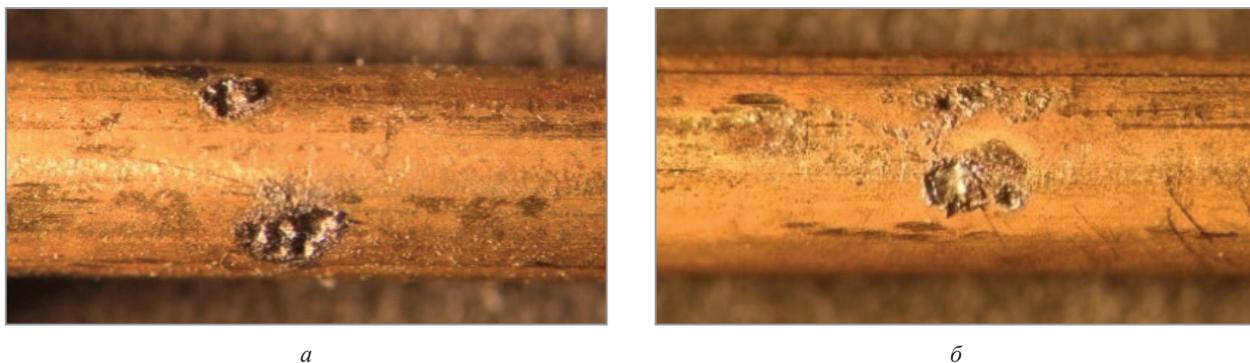


Рис. 4. Внешний вид поверхностных дефектов типа «прижог от искрения» на латунированной проволоке-заготовке. х9

Аналогичные прижоги были обнаружены на образцах сварных швов проволоки, выполненных на некоторых сварочных аппаратах без нарушений требований к режиму сварки. При осмотре прижимных губок сварочных аппаратов было выявлено неудовлетворительное состояние контактной поверхности – раковины от износа.

Прижоги на поверхности проволоки находятся на расстоянии 2–4 см от зоны оплавления сварного шва. Размер, форма и количество прижогов на разных исследуемых образцах различны. Учитывая

размеры прижимных губок для отжига и расстояние между ними, прижоги на поверхности проволоки-заготовки образовались в зоне контакта проволоки с прижимными губками. Диаметр прижогов на поверхности латунированной проволоки-заготовки составляет  $\sim 0,5\text{--}3,0$  мм, что затрудняет выявление дефекта невооруженным глазом оператором, выполняющим сварку. Большая часть прижогов может быть выявлена только при осмотре с помощью стереоскопического микроскопа.

При исследовании микроструктуры латунированной проволоки-заготовки в зоне прижогов, образовавшихся при сварном соединении, обнаружены участки локального характера с мартенситной структурой глубиной  $0,04\text{--}0,3$  мм (рис. 5). На границе раздела мартенсит-перлит наблюдается переходный слой, содержащий пластинчатый и глобулярный цементит (рис. 5).

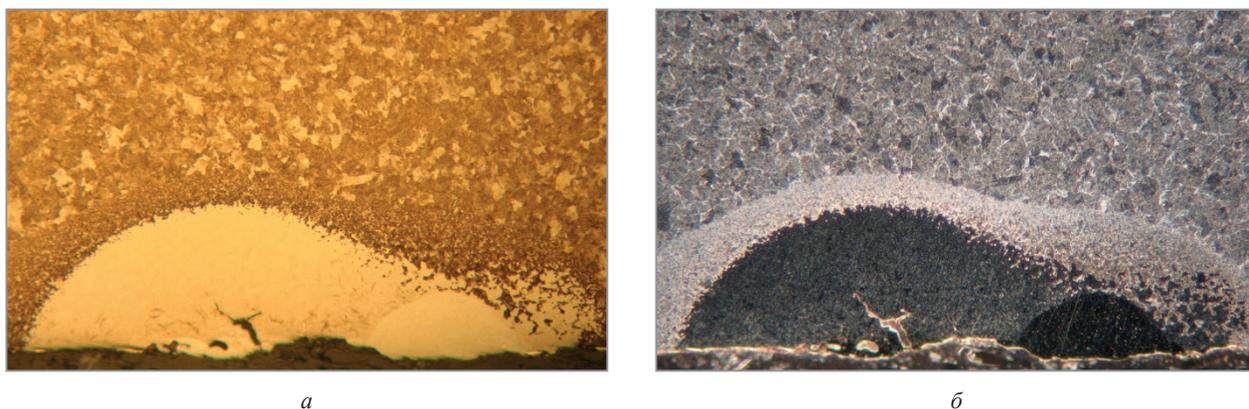


Рис. 5. Локальные участки мартенсита и глобулярного цементита в микроструктуре поверхности латунированной проволоки-заготовки в зоне прижогов от искрения, полученных при выполнении сварного соединения, продольное сечение, травление в реактиве Нитал: *а* – изображение в светлом поле; *б* – изображение в темном поле.  $\times 200$

Эксперименты, проведенные на участке мокрого волочения и металлографические исследования образцов сварок, показали, что дефект сварного соединения типа «прижог от искрения», вызывающий в дальнейшем обрывы проволоки, образуется во время отжига по следующим причинам: плохой контакт проволоки с прижимными губками сварочного аппарата; износ прижимных губок сварочного аппарата.

Для устранения причин возникновения указанного дефекта персоналом технического управления разработаны такие мероприятия, как аттестация сварочных аппаратов по критерию отсутствия прижогов в зоне сварного соединения проволоки-заготовки в металлографической лаборатории с применением стереоскопического микроскопа; обеспечение регулярного контроля за техническим состоянием (отсутствием износа) губок сварочных аппаратов; размещение на рабочих местах визуальных инструкций по проведению процесса соединения проволоки сваркой и оценке технического состояния губок.

Таким образом, в процессе металлографических исследований обрывов тонкой латунированной проволоки после мокрого волочения, экспериментов с выполнением сварных соединений на латунированной проволоке-заготовке, металлографических исследований поверхности и микроструктуры образцов сварных соединений установлена причина образования поверхностного дефекта типа «искрение» на тонкой латунированной проволоке, связанная с плохим контактом проволоки с прижимными губками сварочного аппарата при отжиге во время выполнения сварного соединения латунированной заготовки. На основе полученных исследований выполнен ряд мероприятий, направленных на устранение причин образования дефекта при выполнении сварных соединений латунированной заготовки, что позволит снизить количество обрывов проволоки в процессе дальнейшего ее производства, повысить качество продукции.

### Выводы

1. Обрывы типа «искрение» тонкой латунированной проволоки для производства металлокорда и проволоки РВД происходят из-за наличия на латунированной проволоке-заготовке локальных поверхностных дефектов – прижогов от искрения. Одной из причин их образования являются неудовлетворительные условия при выполнении сварного соединения перед задачей в стан мокрого волочения во время операции отжига – плохой контакт между проволокой и прижимными губками сварочного аппарата, износ контактной поверхности прижимных губок.

2. Характерные особенности внешнего вида обрыва типа «искрение» тонкой латунированной проволоки по причине наличия на проволоке-заготовке прижогов от искрения, полученных при выполнении сварного соединения: хрупкое разрушение по разволоченным поверхностным трещинам локального характера, расположенным по одной образующей; в зоне разрушения и вблизи обычный соломенно-желтый цвет проволоки; на расстоянии 30–60 см от разрушения отбеленный цвет, отсутствие покрытия, поверхностные дефекты, характерные для разволоченной зоны зачистки абразивом проволоки-заготовки. Характерные особенности микроструктуры: локальные участки мартенсита в зоне разрушения и поверхностных трещин, глобулярный цементит в переходной зоне.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Веденеев, А.В.** Метизное производство / А.В. Веденеев, Ю.Д. Губанов, В.В. Ростовцева и др. Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2019. С. 209–210.
2. **Микирова, З.А.** Дефекты стальных заготовок и металлопродукции / З.А. Микирова, Е.А. Перетягина, В.И. Грицаенко и др. Минск: СтройМедиаПроект, 2019. С. 228, 267.

#### REFERENCES

1. **Vedeneev A.V., Gubanov Ju.D., Rostovceva V.V. et al.** *Metiznoe proizvodstvo* [Hardware production]. Gomel', GGTU im. P.O. Suhogo Publ., 2019, pp. 209–210.
2. **Mikirova Z.A., Peretjagina E.A., Gricenko V.I. et al.** *Defekty stal'nyh zagotovok i metalloprodukcii* [Defects of steel billets and metal products]. Minsk, StrojMediaProekt Publ., 2019, pp. 228, 267.



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-35-39>  
УДК 621.74

Поступила 31.05.2021  
Received 31.05.2021

## УСТАНОВЛЕНИЕ ИСТИННЫХ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ И ГОРЯЧЕКАТАНОЙ ПРОДУКЦИИ НА ВСЕХ СТАДИЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕПОЧКИ ОАО «БМЗ – УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БМК»

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

*Установление истинных причин возникновения дефектов является одной из основных предпосылок повышения качества металлопродукции. Одним из нежелательных явлений при производстве непрерывнолитой заготовки, горячекатаной продукции является окисление горячего металла в окружающей среде с образованием на его поверхности окалины. Дефекты, представляющие собой нарушения сплошности металла и отклонения от нормальной заданной макро- и микроструктуры, существенно снижают технологическую пластичность металла в условиях его обработки и эксплуатационную стойкость.*

*После горячей прокатки круга диаметром 95 мм марки стали 30MnB4 в линии адьюстажа обнаружены поверхностные дефекты. Для исследования и установления характера поверхностных дефектов из горячекатаных заготовок, а также непрерывнолитой заготовки отобраны пробы.*

*Анализируя металлографические исследования дефектов и технологию производства исследуемой марки стали 30MnB4, установлено, что дефекты образованы в результате механического повреждения непрерывнолитой заготовки в районе тянуще-правильного агрегата. Причина образования дефекта – попадание окалины на направляющие ролики.*

**Ключевые слова.** *Металлографические исследования, горячекатаная заготовка, поверхностные дефекты, негативная роль окалины, магнитопорошок, непрерывнолитая заготовка, металлографический микроскоп, цифровая система изображений, дефект «риска».*

**Для цитирования.** *Терещенко, А. В. Установление истинных причин возникновения дефектов для обеспечения качества непрерывнолитой заготовки и горячекатаной продукции на всех стадиях технологической цепочки ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» / А. В. Терещенко, И. А. Ковалева // Литье и металлургия. 2021. № 3. С. 35–39. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-35-39>.*

## ESTABLISHING THE TRUE CAUSES OF DEFECTS TO ENSURE THE QUALITY OF CONTINUOUSLY CAST BILLETS AND HOT-ROLLED PRODUCTS AT ALL STAGES OF THE PROCESS CHAIN AT OJSC “BSW – MANAGEMENT COMPANY OF THE HOLDING “BMC”

*A. V. TERESHCHENKO, I. A. KOVALEVA, OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC”, Zhlobin, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: nl.icm@bmz.gomel.by*

*Establishing the true causes of defects is one of the main prerequisites for improving the quality of metal products. One of the undesirable phenomena in the production of continuously cast billets, hot-rolled products is the oxidation of hot metal in the environment with the formation of scale on its surface. Defects, which are violations of the continuity of the metal and deviations from the normal specified macro-and microstructure, significantly reduce the technological plasticity of the metal in the conditions of its processing and operational stability.*

*After hot rolling of a circle of 95 mm steel grade 30MnB4, surface defects were found in the finishing line. To study and establish the nature of surface defects from hot-rolled blanks, as well as continuously cast blanks, samples were taken.*

*Analyzing metallographic studies of defects and the production technology of the studied steel grade 30MnB4, it was found that the defects were formed as a result of mechanical damage to the continuously cast billet in the area of the pulling-correct unit. The reason for the formation of the defect is the ingress of scale on the guide rollers.*

**Keywords.** *Metallographic studies, hot-rolled billet, surface defects, negative role of scale, magnetic powder, continuous cast billet, metallographic microscope, digital image system, “risk” defect.*

**For citation.** *Tereshchenko A. V., Kovaleva I. A. Establishing the true causes of defects to ensure the quality of continuously cast billets and hot-rolled products at all stages of the process chain at OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC”. Foundry production and metallurgy, 2021, no. 3, pp. 35–39. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-35-39>.*

На сегодняшний день определить природу дефекта можно только после металлографического исследования, результаты которого анализируются совместно с информацией о нарушениях технологических процессов производства стали и проката.

Возрастающая конкуренция в условиях глобализации рынка регламентирует жесткие требования к качеству непрерывнолитой заготовки (НЛЗ) и горячекатаной продукции, которые должны обеспечиваться на всех стадиях технологической цепочки. Особенно жесткие требования предъявляются на начальных стадиях технологической цепочки, поскольку вследствие технологической наследственности дефекты, образовавшиеся на стадии производства НЛЗ, впоследствии, проходя стадии горячекатаного передела, часто комбинируются и усиливают друг друга и исправление их является затруднительным, а иногда невозможным [1].

Установление истинных причин возникновения дефектов – одна из основных предпосылок решения вопроса повышения качества металлопродукции [2].

Дефекты, представляющие собой нарушения сплошности металла и отклонения от нормальной заданной макро- и микроструктуры, существенно снижают технологическую пластичность металла в условиях его обработки и эксплуатационную стойкость. Наличие пороков (дефектов), их вид и количество определяются не только совершенством технологий производства, но и степенью их соблюдения на заводах-изготовителях. В связи с этим в задачи установления причин неудовлетворительного качества металлопродукции входит не только выявление дефектов, но и установление их природы и причин возникновения [3].

Одним из нежелательных явлений при производстве НЛЗ и горячекатаной продукции является окисление горячего металла в окружающей среде с образованием на его поверхности окалины.

Негативная роль окалины прослеживается на всех стадиях металлургического передела. На стадии производства непрерывнолитой заготовки окалина, образовавшаяся вследствие агрессивного воздействия воды и пара на металл при высоких температурах, налипает на поддерживающие ролики или вдавливается в поверхность НЛЗ. Налипшая окалина формирует выступы на поверхности роликов машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), которые оставляют вмятины на поверхности НЛЗ и усугубляют вдавливание фрагментов окалины в глубь металла [1].

На прокатном стане 850 ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» после горячей прокатки круга диаметром 95 мм марки стали 30MnV4 в линии адьюстажа обнаружены поверхностные дефекты. Данная марка стали разлита в одну серию из трех плавов в НЛЗ сечением 250x300 мм на четырехручьева криволинейной МНЛЗ. Из данной серии были прокатаны две плавки № 1 и 2, на которых обнаружены дефекты на поверхности горячекатаных заготовок в количестве 19 и 22 т соответственно.

Визуально дефект не виден. При магнитопорошковом определении дефект высвечивается (рис. 1) и представляет собой тонкое продольное углубление по всей длине горячекатаной заготовки.

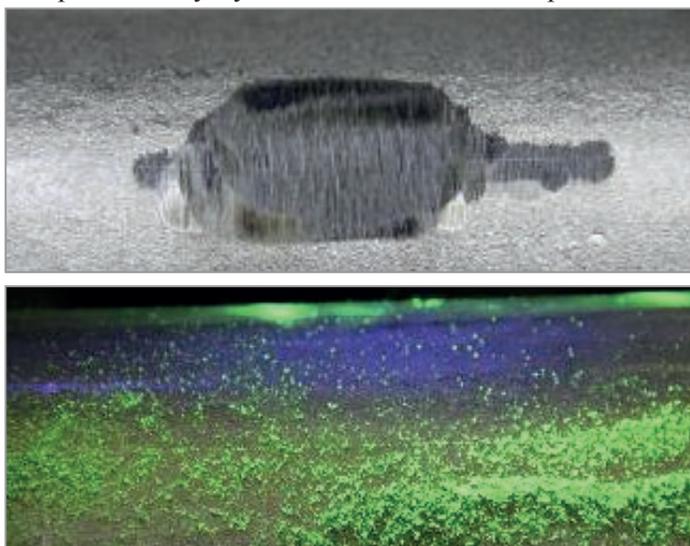


Рис. 1. Вид дефектов на поверхности горячекатаной заготовки на плавках № 1, 2

Для исследования и установления характера поверхностных дефектов из плавов № 1, 2 отобраны пробы и замаркированы под номерами 1, 2. В месте расположения дефектов вырезаны поперечные микрошлифы для проведения металлографического исследования.

При микроструктурном исследовании в светлом поле зрения с помощью инвертированного металлографического микроскопа отраженного света «OLYMPUS GX-51» с цифровой системой изображений поперечных микрошлифов № 1, 2 выявлено, что дефекты расположены под углом к поверхности. Полости дефектов заполнены окалиной, в продолжение их выявлены дорожки диффузионных оксидов. После травления в реактиве «Nital» обнаружено обезуглероживание. После травления в реактиве «Обергоффера» участков белого цвета, которые указывают на имеющуюся в металле ликвацию (интенсивность окраски зависит от степени сегрегации), не выявлено (рис. 2, а, б). Глубина дефектов составила: в образце плавки № 1 – 0,8 мм; № 2 – 1,9 мм.

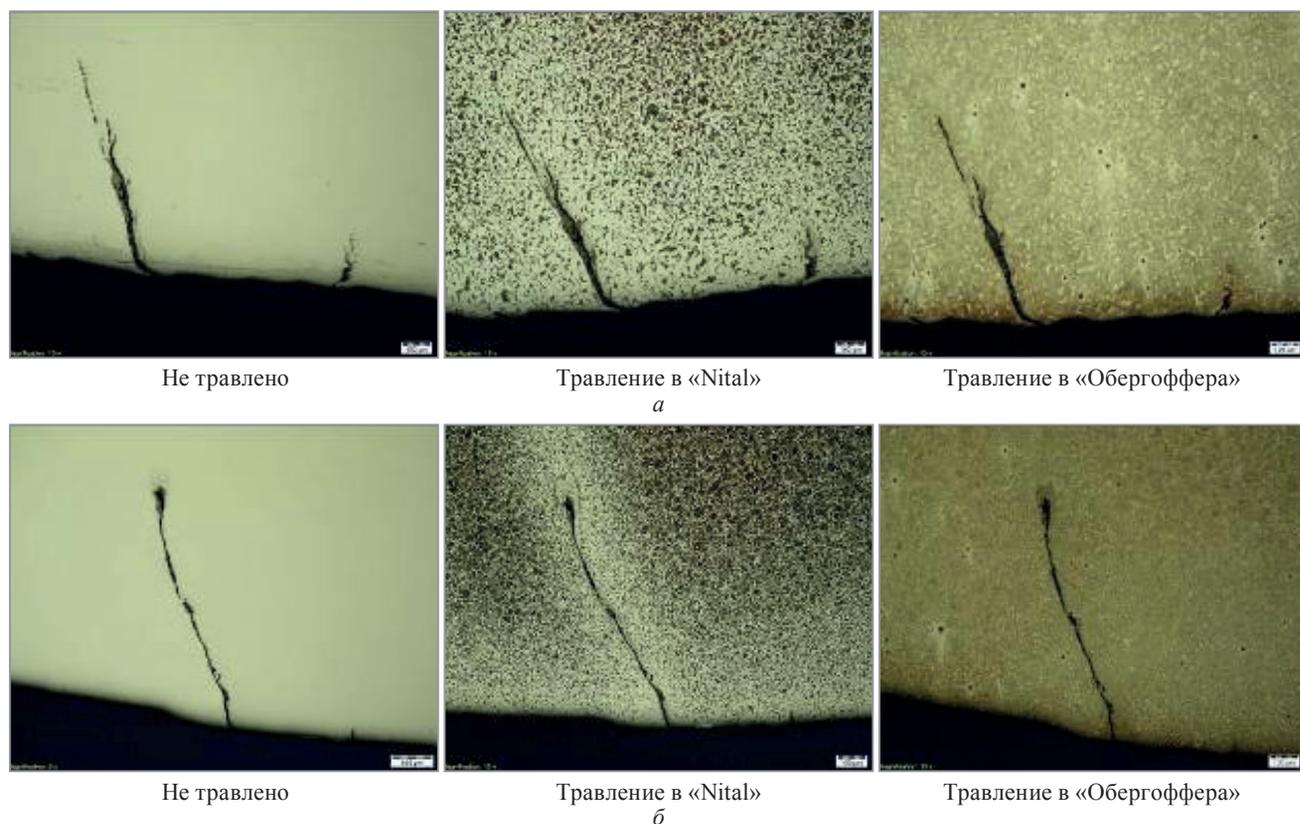


Рис. 2. Вид дефектов в поперечных микрошлифах горячекатаной заготовки: а – плавка № 1; б – плавка № 2

На сегодняшний день определить природу дефекта можно только после металлографического исследования, результаты которого анализируются совместно с информацией о нарушениях технологических процессов производства стали и проката.

Проанализировав технологию производства исследуемой марки стали, мнение специалистов о природе образования данных дефектов разделилось. Некоторые специалисты считают, что подобные дефекты образуются в процессе непрерывной разливки стали и наследуются при прокатном переделе. Другое мнение специалистов состоит в том, что образование дефектов происходит непосредственно при горячей прокатке.

По состоянию во время исследования двух прокатанных плавков плавка № 3 марки стали 30MnB4 из этой же серии была не прокатана. С целью установления возможных причин образования поверхностных дефектов на прокате отобрана проба непрерывнолитой заготовки сечением 250x300 мм плавки № 3 для исследования.

При осмотре пробы непрерывнолитой заготовки плавки № 3 выявлены грубые дефекты на большой грани (рис. 3).

Проба непрерывнолитой заготовки была порезана и приготовлен макротемплет для исследования поверхности.

Исследуя приготовленный макротемплет, визуально видно, что риски достаточно широкие – глубиной около 4,0 мм и шириной около 30,0 мм (рис. 4). По расположению зон кристаллизации в макроструктуре определены соответственно малый и большой радиусы ( $r$  и  $R$ ) заготовки. Установлено, что дефекты располагаются на грани большого радиуса заготовки.



Рис. 3. Внешний вид дефектов на непрерывнолитой заготовке плавки № 3

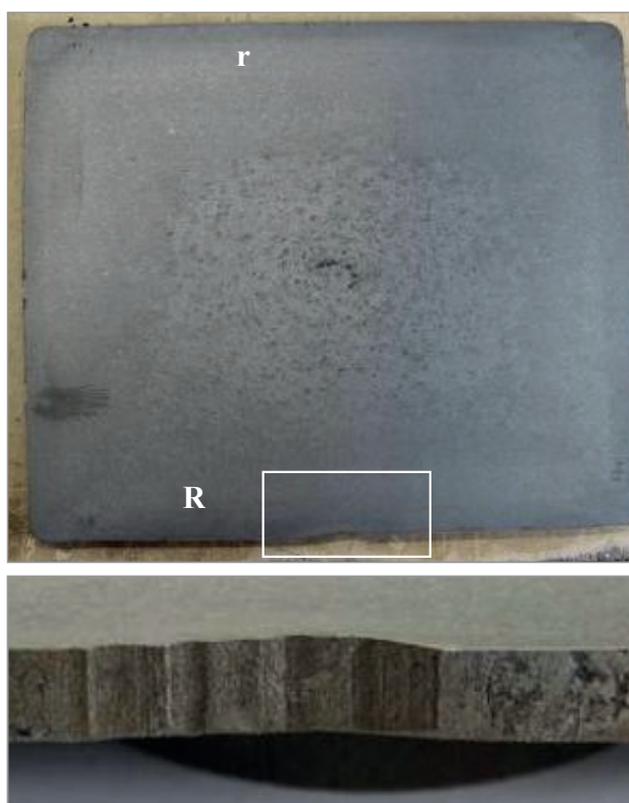


Рис. 4. Внешний вид дефекта на макротемплете непрерывнолитой заготовки плавки № 3

Проведенные исследования поверхности горячекатаных, непрерывнолитой заготовок показали, что качество поверхности проката не связано с кристаллизацией металла (у дефектов отсутствуют ликвационные признаки). Исследуемый дефект на горячекатаных заготовках круга диаметром 95,0 мм марки стали 30MnB4 классифицирован как прикатанная риска, унаследованная с непрерывнолитой заготовки сечением 250x300 мм.

Установлено, что дефекты образованы в результате механического повреждения непрерывнолитой заготовки в районе тянуще-правильного агрегата (ТПА). Причины образования дефекта – попадание окалины на направляющие ролики.

Образовавшаяся на поверхности НЛЗ окалина вследствие окисления раскаленного металла под действием окружающей среды принимает непосредственное участие в формировании качественных показателей поверхности НЛЗ, поскольку является промежуточным слоем между затвердевшей частью НЛЗ и поддерживающими ее роликами МНЛЗ. Как правило, деформации (вмятины) на широких гранях сляба появляются вследствие интенсивного процесса окалинообразования и вдавливания фрагментов окалины в его поверхность.

Образовавшаяся окалина совершенно по-разному ведет себя при контакте с роликами МНЛЗ. Например, окалина может налипать на ролик и наматываться. Явление наматывания окислыны на поддерживающие ролики МНЛЗ связано как с физическими процессами, так и с химическими и устранение этого явления достаточно трудоемко.

Установление природы зарождения исследуемых дефектов способствовало проведению ряда мероприятий, направленных на повышение качества непрерывнолитой заготовки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Совершенствование способов и устройств для интенсифицирования удаления окислыны на основе моделирования процессов в технологической системе непрерывнолитая заготовка – горячекатаная полоса <https://www.dissercat.com/content/sovershenstvovanie-sposobov-i-ustroistv-dlya-intensifitsirovaniya-udaleniya-okaliny-na-osnov>
2. **Буялковский Г. А., Минизон Р. Д.** Поверхностные дефекты легированных сталей. М.: Металлургия, 1987.
3. Прогнозирование дефектов при производстве литых заготовок. <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-defektov-pri-proizvodstve-lityh-zagotovok/viewer>

#### REFERENCES

1. *Sovershenstvovanie sposobov i ustrojstv dlja intensificirovaniya udaleniya okaliny na osnove modelirovaniya processov v tehnologicheskoj sisteme nepreryvnolitaja zagotovka – gorjachekatanaja polosа* [Improvement of methods and devices for intensifying the descaling based on the modeling of processes in the technological system continuously cast billet – hot-rolled strip]. <https://www.dissercat.com/content/sovershenstvovanie-sposobov-i-ustroistv-dlya-intensifitsirovaniya-udaleniya-okaliny-na-osnov>.
2. **Bujarkovskij G. A., Minizon R. D.** *Poverhnostnye defekty legirovannyh stalej* [Surface defects of alloy steels]. Moscow, Metallurgija Publ., 1987.
3. *Prognozirovanie defektov pri proizvodstve lityh zagotovok* [Predicting defects in the production of cast billets]. <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-defektov-pri-proizvodstve-lityh-zagotovok/viewer>.



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-40-45>  
УДК 669.71

Поступила 31.05.2021  
Received 31.05.2021

## ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ АНАЛИЗЕ НЕСООТВЕТСТВИЙ НЕСООТВЕТСТВУЮЩЕЙ ПРОДУКЦИИ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА

*Н. В. ГИРИЛОВИЧ, Г. В. ДОВГОПОЛАЯ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»,  
г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. Тел.: +375 (2334) 5-43-27*

*Качество – это степень, с которой совокупность присущих характеристик объекта соответствует требованиям. Система контроля качества продукции представляет собой совокупность взаимосвязанных объектов и субъектов контроля, используемых видов, методов и средств оценки качества продукции. Эффективная система контроля позволяет осуществить своевременное воздействие на уровень качества продукции, предупредить возможные несоответствия, обеспечивать их оперативное выявление с наименьшими затратами. Одним из прогрессивных методов в современном менеджменте является статистический метод. В статье рассмотрен программный элемент по контролю качества на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК». Данный программный элемент направлен на работу со всеми видами несоответствующей продукции предприятия, на поиск основной причины и статистического анализа по этим причинам.*

**Ключевые слова.** *Несоответствующая продукция, статистический метод, метод Пока-Йока, диаграмма Парето, метод 6М (метод Ишикавы).*

**Для цитирования.** *Гирилович, Н. В. Применение статистических методов при анализе несоответствий несоответствующей продукции в процессе производства / Н. В. Гирилович, Г. В. Довгополая // Литье и металлургия. 2021. № 3. С. 40–45. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-40-45>.*

## APPLICATION OF STATISTICAL METHODS IN THE ANALYSIS OF NONCONFORMITIES OF NONCONFORMING PRODUCTS IN THE PRODUCTION PROCESS

*N. V. GIRILOVICH, G. V. DOVGOPOLAYA, OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC”,  
Zhlobin, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. Tel.: +375 (2334) 5-43-27*

*Quality is the degree to which the totality of an object's inherent characteristics meets the requirements. The product quality control system is a set of interrelated objects and subjects of control, the types, methods and means used to assess the quality of products. An effective control system allows you to make a timely impact on the level of product quality, prevent possible inconsistencies, and ensure their prompt detection at the lowest cost. One of the progressive methods in modern management is the statistical method.*

*The article considers the program element for quality control in OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC”. This program element is aimed at working with all types of nonconforming products of the enterprise, at finding the root cause and statistical analysis for these reasons.*

**Keywords.** *Nonconforming products, statistical method, Poka-Yoka method, Pareto diagram, 6M method (Ishikawa Method).*

**For citation.** *Girilovich N. V., Dvopopolaya G. V. Application of statistical methods in the analysis of nonconformities of nonconforming products in the production process. Foundry production and metallurgy, 2021, no. 3, pp. 40–45. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-40-45>.*

Успешная деятельность любого промышленного предприятия, несомненно, – это конкурентоспособная продукция, отвечающая современным требованиям потребителя. Не исключение и ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» (БМЗ), которое на сегодняшний день является одним из крупнейших производителей кордовой продукции, успешно конкурируя с мировыми лидерами производства в этой области.

Для большинства промышленных предприятий в результате их деятельности неизбежным является возникновение несоответствующей нормам и требованиям техническим нормативным правовым актам

(ТНПА) продукции. В металлургическом и метизном производстве при существующем уровне развития технологии и техники несоответствующая продукция еще не может быть полностью ликвидирована.

Метизная продукция относится к продукции четвертого передела черной металлургии. Сортамент продукции, выпускаемой метизными цехами БМЗ, разнообразен: металлокорд, проволока для рукавов высокого давления, бортовая проволока, проволока различного назначения. Технология изготовления – сложный и многофункциональный процесс. Существует ряд факторов, влияющих на показатели качества продукции, – это технология, материал, оборудование, персонал, взаимосвязь которых трудно установить.

Организация контроля на современном производстве подразумевает незамедлительное реагирование на проблемы, возникающие из-за воздействия как внутренних, так и внешних факторов. Статистическое управление, основанное на формировании статистического мышления персонала, призвано извлечь максимум пользы из процессов, постоянно совершенствуя деятельность предприятия. Не исключение и применение статистических методов при анализе несоответствий несоответствующей продукции в процессе производства, превратив банальный учет несоответствующей продукции в виде длинных и сложных таблиц в наглядное графическое изображение, которое существенно облегчает их восприятие и понимание.

Для реализации идеи статистического метода в процессе учета несоответствующей продукции в метизном производстве использована программа Microsoft Office Excel [1]. В принцип работы программы по учету вложена модель Исикавы (6М) (рис. 1), которая представляет собой наглядный способ группировки причин и следствий и заключается в том, что любой процесс определяется шестью базовыми причинами (факторами) [2]:

- 1) методы и организация (Method);
- 2) материалы (Material);
- 3) персонал (Man);
- 4) оборудование (Machine);
- 5) измерение, контроль (Measurement);
- 6) среда (Milieu).

Метод 6М тесно взаимодействует с принципом Рока-Юока – использование защиты от ввода недоверенных данных и защиты от случайного или несанкционированного изменения данных. Этот принцип давно известен и пришел к нам из Японии. В переводе на русский язык «Рока Yoke» означает



Рис. 1. Пример модели Исикавы или метод 6М

предотвращение непреднамеренных ошибочных действий. В настоящее время данный принцип стал неотъемлемой частью системы контроля качества (применяется в различных программах и их элементах не только на нашем предприятии) (рис. 2, а, б).

Диаметр	Код	Масса, кг	Вид несоответствия	Стан	Номер катушки	Номер бригады	Табельный номер	Причина	Ф.И.О.	Разряд
0,25–2а	001	32	кольцо	32	22842	4	638	Низкая стойкость волок	Иванов О.М.	5
0,25–2а	001	32	кольцо	31	22983	4	638	Низкая стойкость волок	Иванов О.М.	5
0,25–2а	001	32	кольцо	36	23018	4	12112	Низкая стойкость волок	!! ПРОВЕРЬ ТАБЕЛЬНЫЙ	
0,25–3	001	32	кольцо	10	22955	4	459	Низкая стойкость волок	Петров Н.Е.	5

а

намот	152	кольцо	253	диаметр (овал)	248	спираль		рифление
код укладчика отрегулиро	120	чистовая волока не отрегу	96	низкая стойкость волок	248	чистовая волока не отрегу		низкая стойкость волок
аварийный сбой в работе с	32	низкая стойкость волок	157	отсутствие контроля (заде		отсутствие контроля (заде		неуд. состояние фетра
дефект катушки		отсутствие контроля (задержано на ЛД		причина не установлена		низкая стойкость волок		причина не установлена
натяжение не отрегулиров		задержано ОТК		задержано ОТК		причина не установлена		ПРУ не отрегулировано
отсутствие контроля (заде		ПРУ не отрегулировано		отсортировка из возвра		задержано ОТК		отсутствие контроля (заде
задержано ОТК		износ роликов ПРУ		мех. повреждения на лату		ПРУ не отрегулировано		неуд. состояние тех. воило
кольцо регулировали		вал намотки не исправлен						износ роликов ПРУ
мех. часть		аварийный сбой в работе						задержано ОТК
износ конусов пинолей		мех. часть						чистовая волока не отрегу
Microsoft Office Excel								
 <p>Ячейка или диаграмма защищена от изменений.</p> <p>Чтобы изменить защищенную ячейку или диаграмму, снимите защиту при помощи команды "Снять защиту листа" (вкладка "Рецензирование", группа "Изменения"). При этом может потребоваться ввод пароля.</p> <p>OK</p>								
				приработка м/в после зам				
				твердые частицы в эмуль				
				превышение окислы на				
				износ, разрушение волок				
				эмульсия не соответству				слабое охлаждение чистов
				окислы на заготовке		износ, разрушение волок		неуд. прилегание латуни н
				неуд. прилегание латуни		износ роликов ПРУ		аварийный сбой в работе
эл. часть		эмульсия не соответству		аварийный сбой в работе		аварийный сбой в работе		износ, разрушение волок
<b>ИТОГО по виду:</b>	<b>152</b>	<b>ИТОГО по виду:</b>	<b>253</b>	<b>ИТОГО по виду:</b>	<b>248</b>	<b>ИТОГО по виду:</b>		<b>ИТОГО по виду:</b>
<b>ИТОГО по участку:</b>	<b>1205</b> кг							
<b>Введите период выборки:</b>								
начало периода:	01.01.2021							
конец периода:	21.04.2021							
С начала года:	5 065							

б

Рис. 2. Пример работы метода «Рока Йок»:

а – при вводе неверных данных; б – данные защищены или информацию вносят не в ту ячейку\*

Реализуя основную идею программы по учету несоответствующей продукции, применение функции статистического анализа – это использование диаграммы Парето [3]. Диаграмма Парето – упорядоченная нисходящая гистограмма, отображающая виды производственных дефектов, а также частоту их возникновения. Данная диаграмма является графическим отображением правила Парето. В менеджменте качества применение этого правила показывает, что значительное число несоответствий и дефектов возникает из-за ограниченного числа причин. Коротко правило Парето формулируется как 80 на 20, т. е. если применить это правило по отношению к дефектам, то окажется, что 80% дефектов возникает из-за 20% причин.

Используется диаграмма Парето при выявлении наиболее значимых и существенных факторов, влияющих на возникновение несоответствий или брака. Это дает возможность установить приоритет действиям, необходимым для решения проблемы. Кроме того, диаграмма, как и правило Парето, позволяет отделить важные факторы от малозначимых и несущественных (рис. 3, а, б).

Основное преимущество, которое дает диаграмма Парето, это возможность сфокусировать усилия и ресурсы на устранение наиболее значимых проблем, а также проследить результативность выбранных

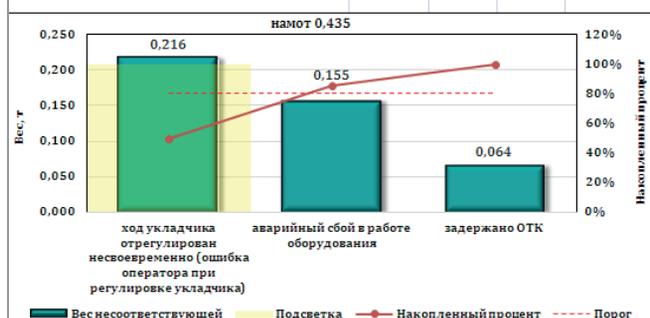
Несоответствующая по участку		2,881		
	Вес несоот.	Накоплен	Порог	Подсветка
рев. скручивание	1,419	49%	80%	1
кольцо	0,462	65%	80%	1
намот	0,435	80%	80%	
диаметр (овал)	0,375	93%	80%	
прочность (усилие)	0,096	97%	80%	
спираль	0,094	100%	80%	
скручивание		100%	80%	
рифление		100%	80%	
латунь		100%	80%	
удлинение		100%	80%	
прочее		100%	80%	
гибы		100%	80%	
цвет		100%	80%	
медь		100%	80%	
дефект катушки		100%	80%	



а

намот		0,435		
	Вес несоот.	Накоплен	Порог	Подсветка
ход укладчика отрегулирован несвоевременно (ошибка оператора при регулировке укладчика)	0,216	50%	80%	1
аварийный сбой в работе оборудования	0,155	85%	80%	
задержано ОТК	0,064	100%	80%	
дефект катушки		100%	80%	
натяжение не отрегулировано		100%	80%	
отсутствие контроля (задержано на ЛИ, ОТК)		100%	80%	
кольцо регулировали		100%	80%	
мех. часть		100%	80%	
износ конусов пинолей		100%	80%	
		100%	80%	
		100%	80%	
		100%	80%	
		100%	80%	
		100%	80%	
		100%	80%	
		100%	80%	

кольцо		0,462		
	Вес несоот.	Накоплен	Порог	Подсветка
низкая стойкость волок	0,250	54%	80%	1
чистовая волока не отрегулирована	0,154	87%	80%	
ПРУ не отрегулировано	0,058	100%	80%	
задержано ОТК		100%	80%	
отсутствие контроля (задержано на ЛИ, ОТК)		100%	80%	
износ роликов ПРУ		100%	80%	
вал намотки не исправлен		100%	80%	
аварийный сбой в работе оборудования		100%	80%	
мех. часть		100%	80%	
		100%	80%	
		100%	80%	
		100%	80%	
		100%	80%	
		100%	80%	
		100%	80%	
		100%	80%	



б

Рис. 3. Пример построения диаграммы Парето: а – применение правила Парето – общие данные; б – применение правила Парето – определенные данные при заданном периоде\*

и примененных мероприятий. Так же как и другие инструменты качества, диаграмма проста для применения и понимания персоналом организации.

Кроме того, с помощью встроенных функций и определенных макросов производится автоматическое построение различных сводных таблиц и диаграмм, позволяющих графически отобразить и проанализировать полученную несоответствующую продукцию за любой выбранный период времени: по персоналу, оборудованию, причинам несоответствия, видам дефектов (рис. 4, 5).

### Выводы

Предложенный вариант учета несоответствующей продукции с применением статистического метода имеет ряд преимуществ:

- определение основной причины получения несоответствий в процессе производства, решение до 80% проблем, возникающих на производстве, достигается это благодаря применению правила и диаграмме Парето;
- значительное снижение количества несоответствующей продукции при своевременном исключении наиболее часто повторяющихся причин;
- простота при использовании программного элемента;
- оптимизация рабочего времени при вводе данных по несоответствующей продукции.

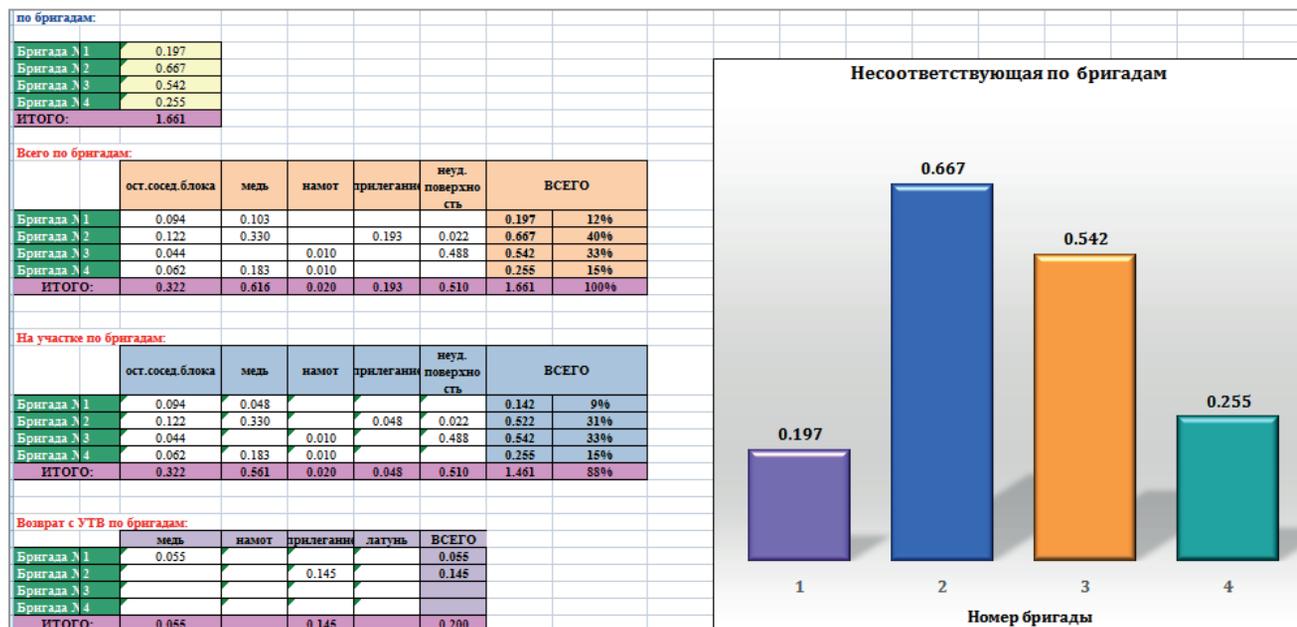


Рис. 4. Пример распределения несоответствующей продукции по видам дефектов (таблицы) и бригадам\*

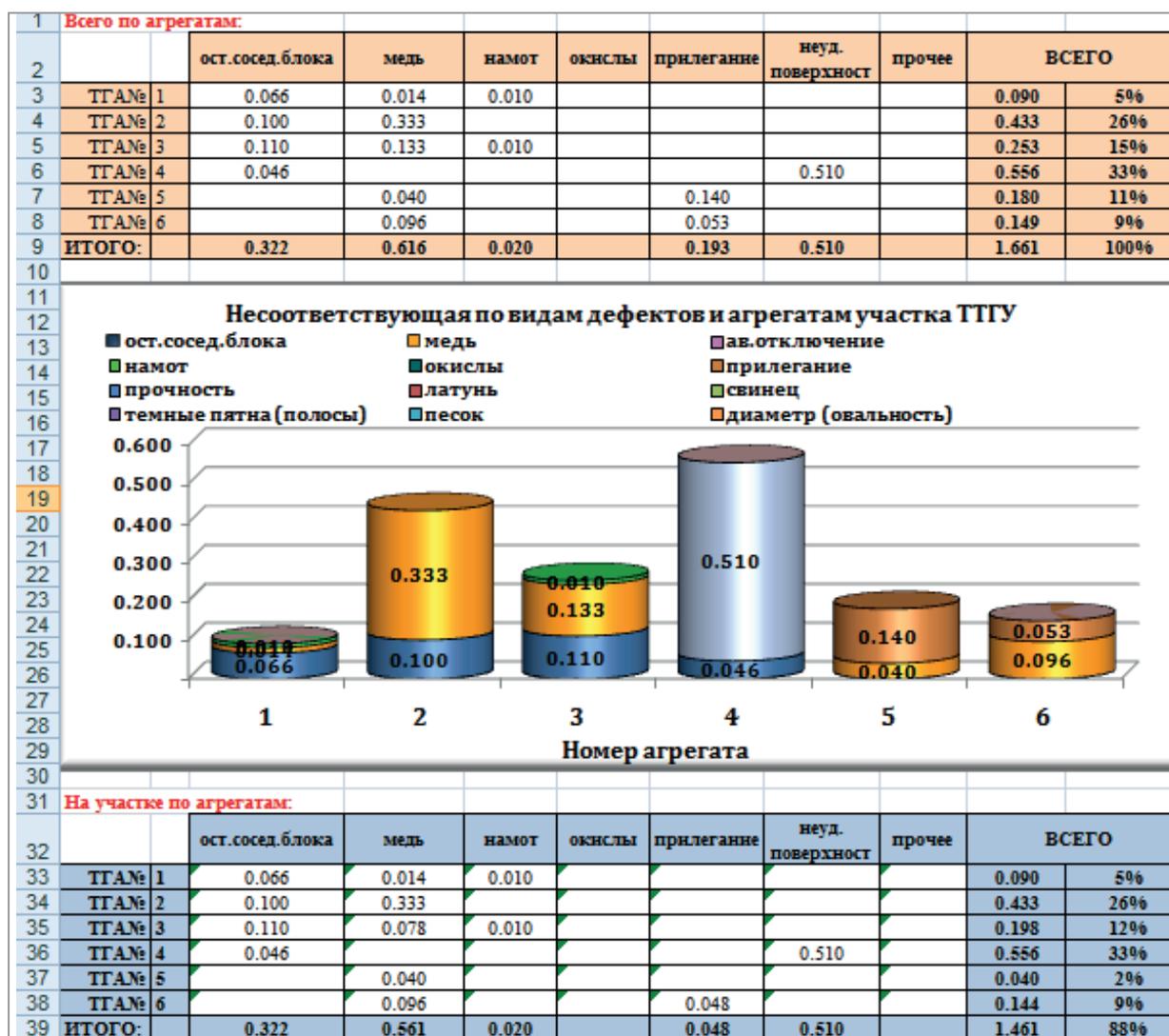


Рис. 5. Вывод статистического анализа на примере ТГГУ.

\* Цифровые значения в таблицах и диаграммах приведены справочно, для наглядности воспроизведения графических изображений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Чекотовский Э.В.** Графический анализ статистических данных в Microsoft Office Excel. М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. 464 с.
2. Семь инструментов качества» в японской экономике. М.: Изд-во стандартов, 1990. 88 с.
3. **Гродзенский С.Я.** Управление качеством. М.: Проспект, 2017. 226 с.

## REFERENCES

1. **Chekotovskij Je. V.** *Graficheskij analiz statisticheskikh dannyh v Microsoft Office Excel* [Graphical analysis of statistical data in Microsoft Office Excel]. Moscow, Izdatel'skij dom «Vil'jams» Publ., 2002, 464 p.
2. *Sem' instrumentov kachestva» v japonskoj jekonomike* [Seven instruments of quality in the Japanese economy]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1990, 88 p.
3. **Grodzenskij S. Ja.** *Upravlenie kachestvom* [Quality control]. Moscow, Prospekt Publ., 2017, 226 p.



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-46-49>  
УДК 669

Поступила 03.08.2021  
Received 03.08.2021

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ РАЗМОТКИ НА КАНАТНЫХ МАШИНАХ

С. С. КОНОВАЛЬЧУК, И. М. ЛИВШИЦ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: zamm.mic@bmz.gomel.by, тел. 8 02334 5-48-35

С целью снижения затрат на производство металлокорда в метизных цехах ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» проводится работа по модернизации и подбору материалов сменной технологической оснастки. В процессе свивки металлокорда на размотке катушек питания канатных машин используются тормозные устройства, состоящие из диска и секторов (колодок), закрепленных в цепочке. Элементы узла размотки находятся в постоянном контакте, обеспечивая необходимое усилие натяжения размотки тонкой проволоки. Работоспособность тормозных устройств влияет на технологичность свивки, отсутствие обрывов, плотность и геометрическое расположение проволок в свитом металлокорде, удовлетворяющее требования потребителей. Вследствие постоянного контактного трения на высоких линейных скоростях происходит износ тормозных колодок, который приводит к аварийной работе оборудования.

В статье рассмотрены результаты испытаний измененного узла размота тонкой проволоки и влияние модернизации на срок службы тормозных колодок.

**Ключевые слова.** Износ тормозных колодок, стойкость к истиранию, модернизация конструкции тормозных цепочек.

**Для цитирования.** Конавальчук, С. С. Модернизация тормозной системы размотки на канатных машинах / С. С. Конавальчук, И. М. Лившиц // Литье и металлургия. 2021. № 3. С. 46–49. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-46-49>.

## MODERNIZATION OF THE BRAKE SYSTEM OF UNWINDING ON ROPE MACHINES

S. S. KONOVALCHUK, I. M. LIVSHITS, OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC”, Zhlobin, Gomel region, Belarus, 37. Promyshlennaya str. E-mail: zamm.mic@bmz.gomel.by, tel. 8 02334 5-48-35

In order to reduce the cost of producing metal cord in the hardware shops of OJSC “BSW” – the Management Company of the Holding “BMC”, work is underway to modernize and select materials for replaceable technological equipment. In the process of twisting the metal cord on the unwinding of the power coils of rope machines, brake devices are used, consisting of a disk and sectors (pads) fixed in a chain. The elements of the unwinding unit are in constant contact, providing the necessary tension force for unwinding a thin wire. The performance of the braking devices affects the manufacturability of the twist, the absence of breaks, the density and geometric arrangement of the wires in the twisted metal cord that meets the requirements of consumers.

Due to constant contact friction at high linear speeds, the brake pads wear out, which leads to emergency operation of the equipment. The article considers the test results of the modified thin wire unwinding unit and the impact of modernization on the service life of brake pads.

**Keywords.** Wear of brake pads, abrasion resistance, modernization of the design of brake chains.

**For citation.** Konovalchuk S. S., Livshits I. M. Modernization of the brake system of unwinding on rope machines. Foundry production and metallurgy, 2021, no. 3, pp. 46–49. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-46-49>.

В 2020 г. с целью увеличения износостойкости узлов размотки катушек с тонкой проволокой изменена конструкция тормозных цепочек и секторов колодок. Опытная партия из четырех комплектов цепочек и колодок установлена на канатную машину ТД 2/401. По результатам работы произведена оценка эффективности использования тормозных цепочек и колодок нового типа.

В результате сравнения технологичности свивки металлокорда и степени износа серийных и модернизированных (нового типа) тормозных цепочек и колодок получены следующие результаты:

1. Технологические режимы работы тормозной системы канатной машины, оснащенной серийными и тормозными цепочками и колодками нового типа, находятся на одном уровне.

2. Использование тормозной цепочки нового типа позволяет получить меньший и равномерный износ тормозных колодок (секторов) в сравнении с конструкцией серийно используемой тормозной цепочки.

Общий период эксплуатации до замены тормозных колодок, установленных на серийных тормозных цепочках и цепочках нового типа, составил 95 дней, замену производили по причине истирания рабочей поверхности тормозных колодок. При замене выполнена сравнительная оценка состояния серийных и нового типа тормозных цепочек, а также состояние тормозных колодок (секторов), установленных на них:

- визуальная оценка не выявила разрушений цепочек, звеньев, секторов;
- на тормозных колодках (секторах), установленных на серийных тормозных цепочках, наблюдался односторонний, неравномерный износ (рис. 1).



Рис. 1. Состояние износа тормозных колодок (серийные цепочки)

Из рисунка видно, что на серийных тормозных цепочках наблюдается неравномерный односторонний износ, причиной образования данного дефекта является наличие зазора между звеньями цепи, замковым соединением и корпусом колодки. Из-за выработки отверстий в корпусе колодки зазор в соединениях увеличивается, происходит перекосяк и, как следствие, неравномерный износ тормозных колодок. Аналогичный износ тормозной колодки на измененной тормозной цепочке не наблюдался из-за отсутствия в конструкции модернизированной тормозной цепочки замкового соединения и корпуса колодки (рис. 2).



Рис. 2. Сравнение конструкций серийных и модернизированных тормозных цепочек:  
а – элементы серийной цепочки; б – элементы цепочки нового типа

Результаты измерения износа тормозных колодок на серийных и тормозных цепочках нового типа после 95 дней эксплуатации представлены в табл. 1.

Из таблицы следует, что минимальный уровень толщины рабочей поверхности тормозной колодки на тормозной цепочке нового типа в среднем составил 2,51 мм (диапазон от 2,31 до 2,71 мм), что на 15% выше средних значений толщины (2,13 мм) на серийной тормозной цепочке (диапазон от 2,34 до 1,91 мм); максимальный износ колодок на тормозной цепочке нового типа от начального значения 4,5 мм составил 2,19 против 2,59 мм на серийной тормозной цепочке; разница по износу тормозного сектора в разных точках замера максимально составила 0,77 мм против 0,96 мм на серийной тормозной цепочке.

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что на канатной машине типа TD2/401 с установленными тормозными цепочками новой конструкции наблюдается менее интенсивный и более равномерный износ тормозных колодок в сравнении с серийными тормозными цепочками.

В период расширенных испытаний замечаний по работе тормозной системы от технического персонала не поступало. Для оценки состояния тормозной системы был проведен осмотр тормозных цепочек нового типа, по результатам которого замечаний о состоянии тормозной системы не выявлено. Внешний вид тормозных цепочек показан на рис. 3.

Таблица 1. Результаты измерения толщины рабочей поверхности тормозной колодки

Место установки тормозной цепочки	Номер колодки	Толщина рабочей поверхности колодок на тормозной цепочке нового типа, мм			Толщина рабочей поверхности колодок на серийной тормозной цепочке, мм			Точки замера
		точка А	точка Б	дельта	точка А	точка Б	дельта	
1-я цепочка (внутренний шпулдержатель)	1	4,08	3,91	0,17	2,53	1,91	0,62	 Точка А
	2	4,07	4,02	0,05	2,94	2,75	0,19	
	3	3,69	3,26	0,43	3,11	2,98	0,13	
	4	-	-	-	3,54	3,72	0,18	
	5	-	-	-	3,11	3,53	0,42	
2-я цепочка (внутренний шпулдержатель)	1	2,31	2,71	0,4	3,32	2,97	0,35	
	2	2,68	3,45	0,77	3,17	3,59	0,42	
	3	3,17	3,84	0,67	3,49	3,51	0,02	
	4	3,36	3,66	0,3	3,16	3,65	0,49	
	5	3,29	3,68	0,39	-	-	-	
1-я цепочка (внешний шпулдержатель)	1	3,84	3,61	0,23	3,71	3,1	0,61	 Точка Б
	2	3,20	3,48	0,28	3,17	2,51	0,66	
	3	3,78	3,39	0,39	3,49	3,06	0,43	
	4	3,50	3,58	0,08	3,14	3,34	0,2	
	5	3,57	3,86	0,29	3,35	2,62	0,73	
2-я цепочка (внешний шпулдержатель)	1	3,99	4,04	0,05	3,61	2,65	0,96	
	2	3,84	3,76	0,08	2,34	2,77	0,43	
	3	4,14	4,15	0,01	2,6	2,79	0,19	
	4	3,89	4,18	0,29	2,87	3,12	0,25	
	5	3,96	3,88	0,08	3,47	3,48	0,01	
Минимум		2,31	2,71	0,01	2,34	1,91	0,01	
Максимум		4,14	4,18	0,77	3,71	3,72	0,96	



а



б



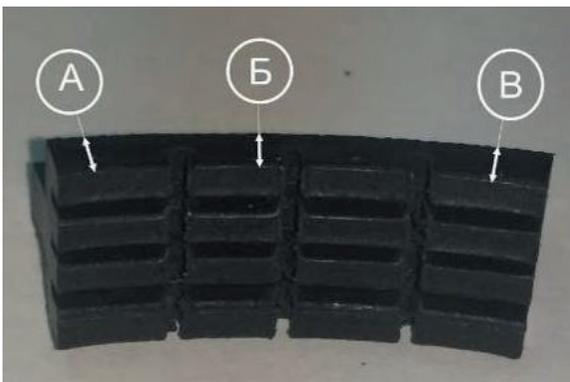
в

Рис. 3. Внешний вид тормозных секторов:

а – внутренний шпулдержатель; б – внешний шпулдержатель; в – тормозные цепочки нового типа

Также выполнена проверка тормозных секторов на канатной машине типа TD2/401. Результаты измерений приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты измерения тормозных секторов канатной машины TD2/401

Место установки тормозной цепочки	Номер колодки	Толщина рабочей поверхности колодок на тормозной цепочке нового типа, мм				Точки замера
		точка А	точка Б	точка В	дельта	
Цепочка внутреннего шпуледержателя	1	4,16	4,0	4,13	0,16	
	2	4,14	4,04	3,86	0,28	
	3	4,06	3,92	3,64	0,42	
	4	4,08	3,85	3,87	0,23	
	5	3,90	4,06	4,1	0,2	
Цепочка внешнего шпуледержателя	1	4,08	3,77	3,80	0,31	
	2	3,69	3,94	4,13	0,25	
	3	3,66	4,04	4,08	0,42	
	4	3,83	4,18	4,18	0,35	
	5	3,86	4,02	4,18	0,32	
Минимум		3,66	3,77	3,64	0,16	
Максимум		4,16	4,18	4,18	0,42	
Среднее		3,95	3,98	4,00	0,29	

Из таблицы следует, что минимальный уровень толщины рабочей поверхности тормозного сектора на тормозной цепочке нового типа после трех месяцев эксплуатации составил 3,66–3,77 мм. Максимальный износ тормозных секторов на измененной тормозной цепочке от начального значения 4,5 мм составил 0,86 мм. Разница по износу тормозного сектора в разных точках замера максимально составила 0,42 мм. Средний износ тормозных колодок за три месяца эксплуатации составил 0,52 мм. Эксплуатация тормозных цепочек нового типа была продолжена без необходимости замены тормозных секторов.

### Выводы

1. При использовании тормозных цепочек и секторов новой конструкции зафиксирован менее интенсивный и равномерный износ тормозных колодок в сравнении с серийными тормозными цепочками.
2. Использование тормозных устройств нового типа позволяет исключить образование одностороннего износа тормозных секторов и обеспечить увеличение стойкости к истиранию их рабочей поверхности на 15%.



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-50-54>  
УДК 669.71

Поступила 30.07.2021  
Received 30.07.2021

## СВОЕВРЕМЕННАЯ ДИАГНОСТИКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Е. В. ГАПЕЕНКО, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: [diagn.uor@bmz.gomel.by](mailto:diagn.uor@bmz.gomel.by)

*Точность управления гидрооборудованием является отличительным признаком современных гидравлических систем. С помощью специальных диагностических приборов можно надежно и просто осуществлять контроль работы гидрооборудования. Методы диагностирования могут быть самыми различными. В статье перечислены этапы и методы проверки неисправностей гидрооборудования, а также описаны принципы работы диагностических приборов известных мировых фирм-производителей HYDAC, MOOG, используемых на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК». Схематично представлено подключение тестера фирмы MOOG к производственному оборудованию при проверке сервоклапана в автономном и совмещенном режиме, не прибегая к демонтажу клапана. Непрерывный контроль чистоты масла с помощью прибора FCU фирмы HYDAC позволил сэкономить время на оценку его состояния и принятия быстросрабатывающих корректирующих мероприятий по очистке масла от загрязнений.*

**Ключевые слова.** Гидрооборудование, диагностический прибор, сервоклапан, тестер, масло, гидросистема.

**Для цитирования.** Гапеевко, Е. В. Своевременная диагностика гидравлического оборудования в металлургическом производстве / Е. В. Гапеевко // *Литье и металлургия*. 2021. № 3. С. 50–54. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-50-54>.

## TIMELY DIAGNOSTICS OF HYDRAULIC EQUIPMENT IN METALLURGICAL PRODUCTION

E. V. GAPEENKO, OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC”, Zhlobin, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: [diagn.uor@bmz.gomel.by](mailto:diagn.uor@bmz.gomel.by)

*Precision control of hydraulic equipment is a distinctive feature of modern hydraulic systems. With the help of special diagnostic devices, it is possible to reliably and simply monitor the operation of hydraulic equipment. Diagnostic methods can be very different. The article lists the stages and methods of checking hydraulic equipment malfunctions, as well as describes the principles of operation of diagnostic devices of well-known world manufacturers HYDAC, MOOG, used in OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC”. Schematically, the connection of the MOOG tester to the production equipment is presented when checking the servo valve in autonomous and combined mode, without resorting to dismantling the valve. Continuous monitoring of the oil purity with the help of the HYDAC FCU device allowed saving time on assessing its condition and taking fast-acting corrective measures to clean the oil from contamination.*

**Keywords.** Hydraulic equipment, diagnostic device, servo valve, tester, oil, hydraulic system.

**For citation.** Gapeenko E. V. Timely diagnostics of hydraulic equipment in metallurgical production. *Foundry production and metallurgy*, 2021, no. 3, pp. 50–54. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-50-54>.

Открытое акционерное общество «Белорусский металлургический завод – управляющая компания холдинга «Белорусская металлургическая компания» (далее – БМЗ) – это современное предприятие, которое наращивает объемы выпускаемой продукции из-за ввода в эксплуатацию новых мощностей, стремится модернизировать устаревшее оборудование до уровня высокотехнологичного. На всех технологических переделах предприятия используется большое количество гидравлического оборудования (гидроцилиндры, гидромоторы, гидронасосы, клапана).

Рассмотрим методы и средства диагностики оценки состояния гидравлического оборудования.

Важной составляющей технического обслуживания служит оперативное выявление причин неисправностей, которые приводят к сбоям в работе и потере работоспособности оборудования. Наиболее эффективным методом для установления неисправного элемента гидросистемы является использование логических методов поиска, что требует хороших знаний принципов действия, конструкции и особенностей функционирования всех гидроаппаратов по отдельности и системы в целом.

Вполне понятно, что если все элементы системы оснащены устройствами, которые дают информацию об их техническом состоянии (датчики усилий, скорости, перемещений, давления, уровня, температуры и др.), то поиск неисправностей намного упрощается. Однако такие проекты могут быть реализованы только для очень ответственных и дорогих гидросистем. Поэтому логический метод диагностики может быть применен для большинства существующих гидросистем различной степени сложности.

Весь процесс поиска неисправностей делится на последовательные этапы:

**Этап 1.** Уточнение возникшей неисправности в машине (конкретизируется вид функциональной неполадки).

При этом используется хронология неисправностей:

- прекращение движения рабочего органа машины;
- неконтролируемое движение рабочего органа;
- недостаточная скорость перемещения;
- недостаточное усилие, развиваемое рабочим органом;
- разрыв трубопровода или РВД;
- нагрев рабочей жидкости;
- появление пены в баке;
- неправильное направление движения.

**Этап 2.** Составляется перечень гидроаппаратов, непосредственно участвующих в передаче мощности к исполнительному механизму, нарушение работоспособности которого было выявлено на первом этапе, а также в управлении этой мощностью.

**Этап 3.** Изучается статистическая информация – это агрегатные журналы, журналы приема сдачи смен дежурного персонала.

**Этап 4.** Интуитивный поиск неисправности.

Интуитивная оценка ситуации проводится с целью сокращения числа «подозреваемых» элементов. Для этого на слух (повышенный шум при работе), на ощупь (локальный нагрев гидроаппаратов), визуально (потеки масла, состояние агрегатов) определяются дополнительные признаки неисправности какого-то гидроаппарата или потери рабочей жидкостью своих эксплуатационных качеств.

**Этап 5.** Поиск неисправности с помощью технических средств.

Технические средства используются в тех случаях, когда причина неисправности не была выявлена на этапах 3 и 4. Используются специальные контрольно-измерительные средства для определения давления и расхода жидкости, величины хода штока гидроцилиндра, положения золотника распределителя и других параметров гидросистемы и ее элементов. Это наиболее достоверный способ.

Желательно осуществлять такой контроль, не демонтируя компоненты гидросистемы. Сама система должна быть оборудована устройствами легкого присоединения контрольных средств и приборов. Для контроля расхода приходится разъединять соединительную аппаратуру (контрольные точки позволяют измерить давление).

**Этап 6.** Выявление неисправного аппарата, определение неисправности и принятие решения о способе ее устранения.

На основании установленных признаков неисправности делается окончательный вывод о «виновности» конкретного гидроаппарата и принимается решение о возможности устранения неисправности на месте либо о замене его новым.

При неисправностях насоса, износе гидроцилиндра или гидрораспределителя, как правило, их меняют на новые, неисправные подлежат проведению контроля состояния и принятия решения целесообразности ремонта данных гидравлических узлов.

### **Оперативный контроль неисправностей гидравлического оборудования**

В решении проблемы обеспечения надежной работы гидроприводов возрастает роль технической диагностики, контролирующей техническое состояние гидропривода в процессе эксплуатации. Это позволяет использовать привод оптимальным образом, осуществлять ремонт в кратчайшие и действительно необходимые сроки.

В качестве переносных средств технической диагностики все более широко применяются гидравлические тестеры, приборы контроля давления, температуры и расхода, виброанализаторы.

Безотказность и технический ресурс насосов, гидромоторов, гидроцилиндров, направляющих и регулирующих гидроаппаратов зависят, прежде всего, от эксплуатационных свойств и чистоты рабочей

жидкости. Согласно мировой статистике, 70–80% выходов из строя гидравлических систем и до 90% поломок подшипников вызваны загрязненностью рабочей жидкости.

Загрязнение рабочей жидкости крайне отрицательно влияет на надежность и долговечность гидросистем. Механические примеси, двигаясь вместе с жидкостью, попадают в зазоры движущихся деталей, на поверхности плоских пар трения, на фаски клапанов, в щели и отверстия дросселей и демпферов, вызывают повышенный износ и отказы (заклинивание плунжеров, защемление золотников, потере герметичности клапанов, закупорку каналов малого сечения и др.).

При модернизации гидравлического оборудования и строительстве новых цехов БМЗ было принято решение о приобретении современных диагностических приборов для оценки класса чистоты гидравлической жидкости (рис. 1). По результатам проработки остановили выбор на приборе FCU-2110-4 фирмы HYDAC (рис. 2). Прибор обеспечивает непрерывный контроль загрязнения минеральных масел твердыми частицами и позволяет производить оценку класса чистоты масла согласно международному стандарту по NAS 1638, SAE AS4059 или ISO 4406 с последующим регистрированием результатов, сохранением в памяти и отображением в полностью автоматическом непрерывном режиме. Полученные значения могут распечатываться в режиме «онлайн» в форме таблицы или диаграммы через встроенный принтер.



Рис. 1. Определение класса чистоты на рабочей гидростанции



Рис. 2. Общий вид прибора FCU-2110-4

Непрерывный контроль чистоты масла позволил сэкономить время на оценку его состояния и принятия быстродействующих корректирующих мероприятий по очистке масла от загрязнений. Например, при строительстве трубопрокатного цеха (ТПЦ) и сортопрокатного цеха (СПЦ-2), реконструкции машины непрерывного литья заготовки (МНЛЗ-3) смонтированы тысячи метров гидравлических трубопроводов, специальными промывочными станциями промыты внутренние стенки труб и с помощью прибора FCU выполнены более 1000 замеров класса чистоты жидкости.

После ввода в эксплуатацию нового гидравлического оборудования ТПЦ и МНЛЗ-3 остро встал вопрос о возможности диагностирования сервоклапанов на предприятии.

Сервоклапанами в гидравлике называют клапаны, способные преобразовать малый входной электрический сигнал в большой выходной – гидравлический. Получается, что сервоклапана способны выполнять роль гидравлического усилителя. Они применяются преимущественно как устройства регулирования и управления. Этим обуславливается широкое применение сервоклапанов с обратной связью. Сервоклапаны не только преобразуют малый электрический сигнал в энергию потока жидкости, но и способны выполнять корректировку в зависимости от отклонений и предварительно заданных параметров (скорости, положения, давления).

На МНЛЗ-3 были установлены гидравлические сервоклапаны серии D661 фирмы Moog. В процессе наладки и работы происходили сбои в работе столов качания и правильно-тянущих механизмов и, как следствие, простои оборудования.

По результатам проработки вопроса о возможности диагностики вновь установленных сервоклапанов (рис. 3) был приобретен тестер G040-123 (рис. 4), который позволяет проверить работоспособность клапана, не демонтируя его с оборудования, а также провести измерение токовых параметров сигналов управления золотника клапана.

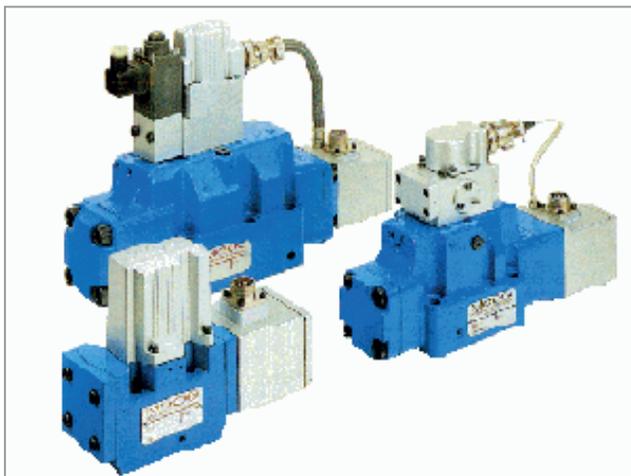


Рис. 3. Общий вид сервоклапанов

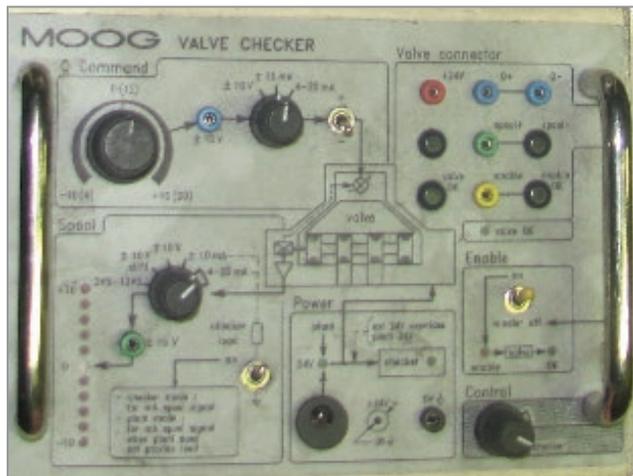


Рис. 4. Общий вид тестера G040-123

Тестер G040-123 предназначен для оценки технического состояния серво- и пропорциональных Q-клапанов с электрической обратной связью.

Особенность, которая делает его таким универсальным, заключается в возможности контроля технических параметров клапана, контроля смещения нуля, порога чувствительности, динамики клапана без его демонтажа с оборудования.

Определение технических характеристик осуществляется в двух режимах: «совмещенном» и «автономном» (рис. 5, 6).

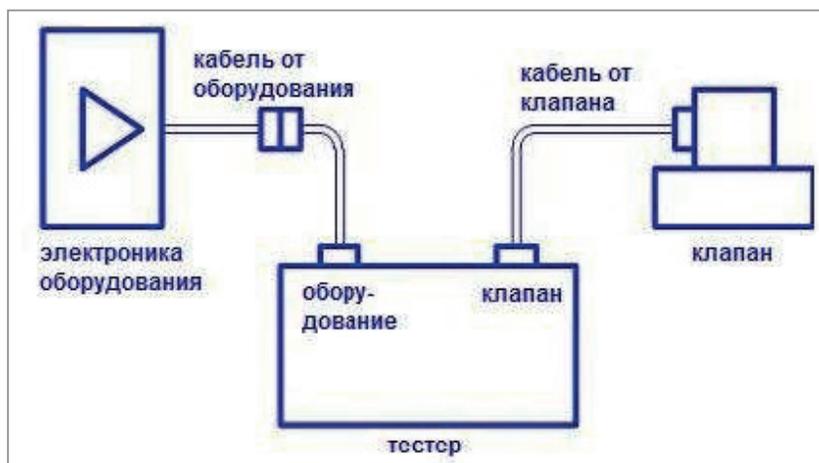


Рис. 5. Совмещенный режим



Рис.6. Автономный режим

**Тестер (автономный режим)**

В этом режиме тестер является источником сигналов, подающихся на клапан, и измеряет сигналы, поступающие с него. Клапан остается установленным в оборудовании, но сигналы с блока управления на него не поступают. Контроль клапана в составе машины обеспечивает дополнительное преимущество, поскольку становится возможным наблюдать реакцию оборудования на сигналы, поступающие с тестера.

**Подключение к производственному оборудованию (совмещенный режим)**

Производственное оборудование и клапан работают в нормальном режиме. Тестер устанавливается между электроникой оборудования и клапаном, не нарушая их нормального соединения. Тестер фиксирует сигналы, поступающие с электроники оборудования на клапан и обратно, контролируя, таким образом, состояние клапана во время рабочего цикла.

Тестер может быть запитан от электроники оборудования как в режиме работы от оборудования, так и в режиме тестера. Для этой цели на передней панели тестера имеется гнездо для подключения внешнего источника питания с напряжением +24В. Тестер G040-123 позволяет проводить диагностику сервоклапанов серии D661 фирмы Moog как непосредственно на оборудовании, так и на испытательном гидравлическом стенде.

### Выводы

ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» – современное высокотехнологичное предприятие, которое в процессе производства применяет последние достижения мировых производителей диагностического оборудования для определения причин неисправностей в гидравлике.

Бурное развитие техники требует от специалистов не только глубоких теоретических знаний, но и хороших практических навыков.

Для правильного обслуживания и эксплуатации оборудования в гидравлике, так же как и в других областях техники, требуются квалифицированные специалисты, хорошо разбирающиеся в особенностях применяемого оборудования. Обслуживающий персонал должен иметь высокий профессиональный уровень знаний в области сервопривода, повышать свою квалификацию.



*Поздравляем!*

*Анну Геннадьевну АНИСОВИЧ  
с присвоением научного звания  
профессора!*

*Желаем дальнейших творческих  
успехов, здоровья, долгих лет  
жизни!*



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-55-60>  
УДК 669

Поступила 18.08.2021  
Received 18.08.2021

## АНАЛИЗ ПРИЧИН И УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ НА ГОРЯЧЕКАТАНОМ ПРОКАТЕ ИЗ ПЕРИТЕКТИЧЕСКИХ МАРОК СТАЛИ, ПОЛУЧЕННЫХ В УСЛОВИЯХ ОАО «БМЗ – УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БМК»

*А. В. ТЕРЕЩЕНКО, Н. А. ХОДОСОВСКАЯ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: mn.rcmp@bmz.gomel.by, тел. 375-2334-54290*

*И. Б. ОДАРЧЕНКО, ГГТУ им. П. О. Сухого, г. Гомель, Беларусь, пр. Октября, 48. E-mail: dk\_mtf@gstu.by*

*ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» производит широкий перечень углеродистых, качественных, легированных и высокоуглеродистых марок стали, среди которых значительную долю занимают стали перитектического класса. В основном из стали данной группы производится прокат, предназначенный для изготовления компонентов для автомобильной промышленности. Процесс производства и разлива данных сталей характеризуется наибольшей нестабильностью и зачастую сопровождается браком и вынужденной отсортировкой продукции. Такая ситуация характерна и для других металлургических предприятий. Поэтому поиск технологических решений, обеспечивающих рост выхода годного при сохранении существующей производительности металлургических агрегатов, – актуальный аспект совершенствования технологии непрерывной разливки сталей перитектического класса. Основной научно-технической задачей при этом является получение стабильного качества непрерывнолитой заготовки, направленное на предупреждение и исключение образования ряда характерных дефектов, в первую очередь трещин на поверхности непрерывнолитой заготовки и проката. Поиск методов и технологических решений для улучшения качества продукции из стали перитектического класса является целью проводимых исследований.*

**Ключевые слова.** *Сталь, непрерывнолитая заготовка, перитектические марки стали, поверхностные дефекты, раскатанные трещины.*

**Для цитирования.** *Терещенко, А. В. Анализ причин и условий формирования поверхностных дефектов на горячекатаном прокате из перитектических марок стали, полученных в условиях ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» / А. В. Терещенко, Н. А. Ходосовская, И. Б. Одарченко // Литье и металлургия. 2021. № 3. С. 55–60. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-55-60>.*

## ANALYSIS OF THE CAUSES AND CONDITIONS FOR THE FORMATION OF SURFACE DEFECTS ON HOT-ROLLED PRODUCTS FROM PERITECTIC STEEL GRADES OBTAINED UNDER THE CONDITIONS OJSC “BSW – MANAGEMENT COMPANY OF THE HOLDING “BMC”

*A. V. TERESHCHENKO, N. A. KHODOSOVSKAYA, OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC”, Zhlobin, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: mn.rcmp@bmz.gomel.by, tel. 375-2334-54290*

*I. B. ODARCHENKO, Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoy, Gomel, Belarus, 48, Otkryabrya Ave. E-mail: dk\_mtf@gstu.by*

*OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC” produces a wide range of carbon, high-quality, alloyed and high-carbon steel grades, among which a significant share is peritectic grade steels. Basically, the steel of this group is used to produce rolled products intended for the manufacture of components for the automotive industry. The process of production and casting of these steels is characterized by the greatest instability and is often accompanied by rejects and forced sorting of products. This situation is typical for other metallurgical enterprises. Therefore, the search for technological solutions that ensure an increase in the yield while maintaining the existing productivity of metallurgical units is an urgent aspect of improving the technology of continuous casting of peritectic grade steels. At the same time, the main scientific and technical task is to obtain a stable quality of continuously cast billets, aimed at preventing and eliminating the formation of a number of characteristic defects, primarily cracks on the surface of continuously cast billets and rolled products. The search for methods and technological solutions to improve the quality of products made of peritectic grade steel is the goal of the ongoing research.*

**Keywords.** *Steel, continuously cast billets, peritectic steel grades, surface defects, rolled cracks.*

*For citation.* Tereshchenko A. V., Khodosovskaya N. A., Odarchenko I. B. Analysis of the causes and conditions for the formation of surface defects on hot-rolled products from peritectic steel grades obtained under the conditions OJSC "BSW – Management Company of the Holding "BMC". Foundry production and metallurgy, 2021, no. 3, pp. 55–60. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-55-60>.

В области изучения причин образования дефектов на стали перитектического класса проведено значительное количество научных исследований и получено множество оптимизированных решений. Однако ввиду существенных конструктивных различий машин непрерывного литья, а также различий в химическом составе сталей, производимых не по международным стандартам, эффективно адаптировать результаты проведенных исследований к условиям ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» (далее – БМЗ) не представляется возможным. Соответственно мероприятия по совершенствованию технологии получения непрерывнолитой заготовки (НЛЗ) могут быть разработаны только на основе проведения собственных исследований и анализа причин, условий и механизмов образования трещин на поверхности НЛЗ и проката.

Известно, что к сталям перитектического класса относят марки с содержанием углерода 0,17–0,20%, претерпевающие в процессе кристаллизации аллотропические превращения:  $\delta$ -железо (сторона  $a=2,93 \text{ \AA}$ )  $\rightarrow$   $\gamma$ -железо (сторона  $a=3,64 \text{ \AA}$ )  $\rightarrow$   $\alpha$ -железо (сторона  $a=2,90 \text{ \AA}$ ) и связанное с ними многократное изменение объема кристаллической решетки. Именно эта особенность предопределяет повышенное трещинообразование сталей данной группы в ходе кристаллизации непрерывнолитой заготовки [1].

В условиях БМЗ разливка стали осуществляется на криволинейной 4-ручьевой блюмовой МНЛЗ в заготовки сечением 250x300 и 300x400 мм. В ходе контроля качества круглого горячекатаного проката стали марки 18Г2АФ была получена отсортировка продукции по поверхностным дефектам сталеплавильного происхождения до 40% от плавки. С целью установления причин, условий формирования поверхностных дефектов на отсортированных заготовках стали 18Г2АФ были исследованы образцы НЛЗ и проката. Внешний вид дефектов на поверхности проката представлял собой раскрытые разрывы металла, расположенные полосой вдоль направления деформации (рис. 1, 2) и преимущественно сконцентрированные в непосредственной близости к углу непрерывнолитой заготовки (установлено в ходе исследования макротемплета горячекатаного проката).

Следует отметить, что в области дефектов отмечается характерное смещение эквивалентной зоны (рис. 2), что указывает на неравномерные условия охлаждения в процессе разливки [2].

При микроструктурном исследовании с помощью инвертированного металлографического микроскопа отраженного света «OLYMPUS GX-51» на нетравленных микрошлифах в светлом поле зрения обнаружено, что поверхностные дефекты расположены под углом к поверхности. В полостях дефектов присутствует окалина. Также имеются характерные признаки дефектов сталеплавильного производства: обезуглероживание и выстроенные крупные зерна феррита в районе дефекта [3]. При травлении микрошлифов в реактиве «Обергоффера» участки сегрегации выявлены не были, что свидетельствует об образовании дефекта не на стадии первоначального формирования данного участка НЛЗ (рис. 3).

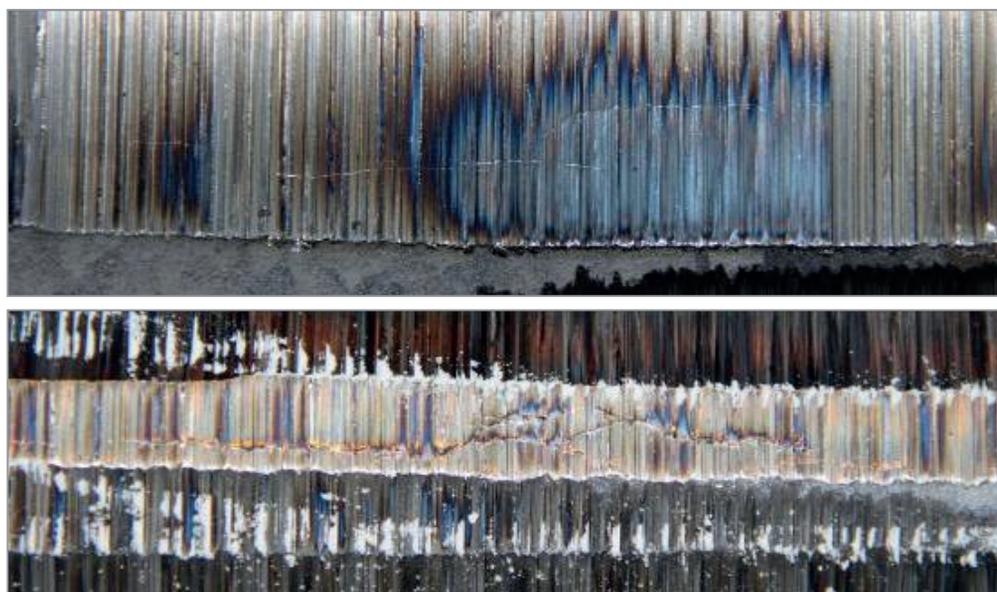


Рис. 1. Внешний вид дефекта на поверхности круглого горячекатаного проката стали марки 18Г2АФ

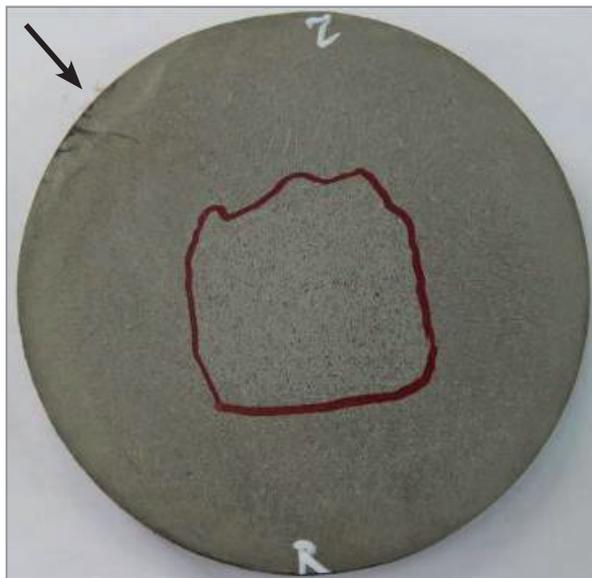


Рис. 2. Макроструктура поперечного сечения круглой горячекатаной заготовки диаметром 140 мм стали марки 18Г2АФ



*a*



*б*



*в*

Рис. 3. Микроструктура в зоне выявленных дефектов на поверхности круглого горячекатаного проката стали марки 18Г2АФ: *a* – нетравленный микрошлиф; *б* – травление в реактиве «Nital»; *в* – травление в реактиве «Обергоффера». x 100

Для более детального определения химического состава включений, расположенных в полостях дефектов, было проведено исследование с помощью растрового электронного микроскопа с рентгеновским микроанализатором Vega II Tescan (рис. 4).

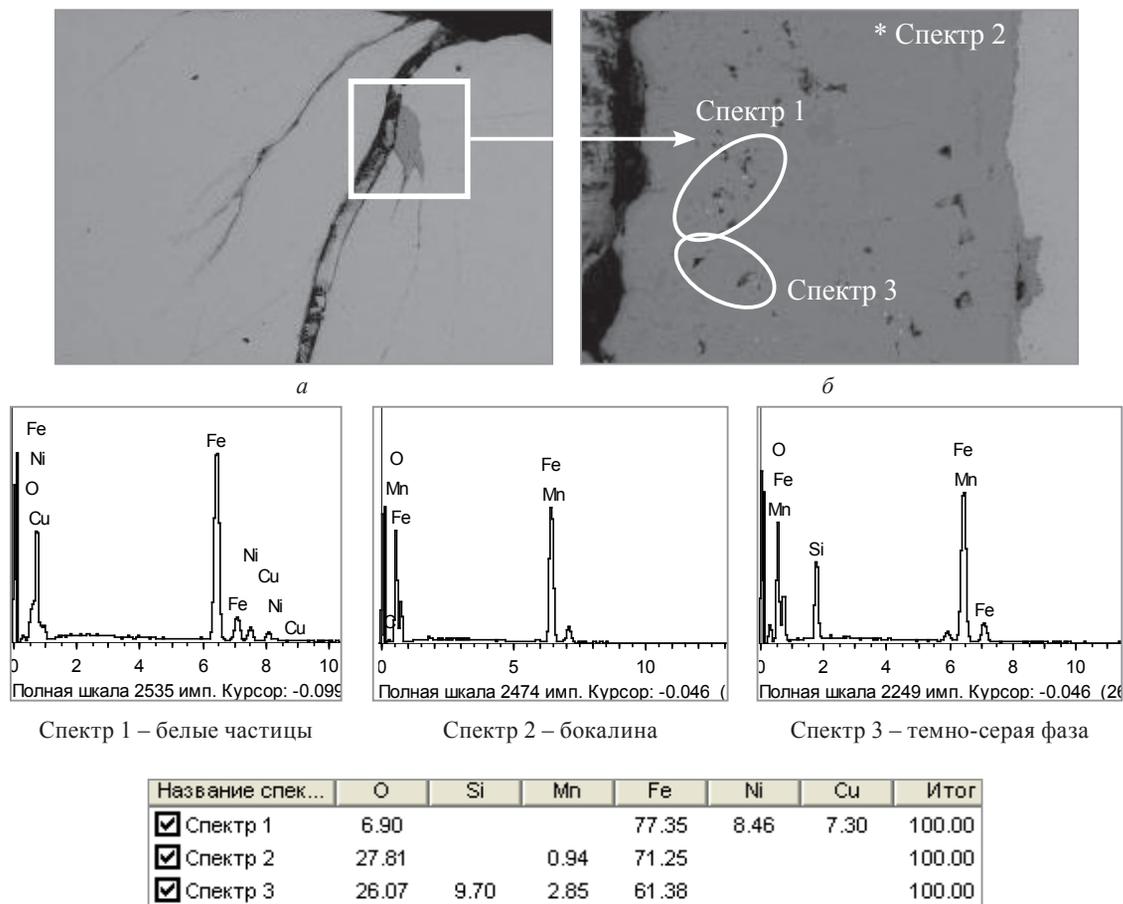


Рис. 4. Исследование включений, расположенных в полости выявленных дефектов, на растровом электронном микроскопе с рентгеновским микроанализатором Vega II Tescan: а – х 100; б – х 1000

Результаты исследований химического состава включений в полости дефектов показали наличие таких элементов, как Ni, Cu, Mn, Si, Fe, O. Выявленная медь, а также никель свидетельствуют о проникновении перечисленных выше элементов в полость дефекта вследствие их диффузии со стенок кристаллизатора при разливке металла.

Таким образом, проведенные исследования, в том числе изучение внешнего вида, анализ макроструктуры, а также микроструктурных особенностей образовавшихся дефектов на поверхности круглого горячекатаного проката диаметром 140 мм стали марки 18Г2АФ позволили (в соответствии с ГОСТ 21014) классифицировать их как раскатанные трещины (сетчатые) с максимальной глубиной залегания в исследуемом сечении до 2,8 мм.

Подобная оценка макроструктуры поперечного сечения и качества поверхности представленной пробы была проведена для непрерывнолитой заготовки стали марки 18Г2АФ сечением 300x400 мм. Темплеты были протравлены в горячем 50%-ном растворе соляной кислоты (рис. 5).

При исследовании макроструктуры поперечного сечения НЛЗ выявлены трещины, выходящие и не выходящие на поверхность непрерывнолитой заготовки, расположенные в углу большой и малой грани по малому радиусу. На поверхности непрерывнолитой заготовки четко видны складки от качания кристаллизатора, которые смещены по направлению вытягивания. Кроме того, обнаружены грубые сетчатые трещины, расположенные как в следах качания, так и в целом по поверхности грани НЛЗ.

При микроструктурном исследовании в светлом поле зрения на нетравленном микрошлифе установлено, что дефекты расположены под разными углами к поверхности (рис. 6). В полостях дефектов обнаружена окалина. После травления в реактиве «Nital» выявлено, что дефекты располагаются как в межосных участках, так и пересекают оси дендритов. [4]. Максимальная глубина залегания дефектов непрерывнолитой заготовки в исследуемом сечении достигала 4,7 мм.



*a*



*б*

Рис. 5. Непрерывнолитая заготовка сечением 300x400 мм стали марки 18Г2АФ:  
*a* – макроструктура поперечного сечения (в увеличенном виде показаны трещины, расположенные в углу НЛЗ по малому радиусу разливки); *б*– поверхность НЛЗ по малому радиусу разливки



*a*

*б*

Рис. 6. Выявленные дефекты на непрерывнолитой заготовке сечением 300x400 мм стали марки 18Г2АФ:  
*a* – нетравленный микрошлиф; *б* – травление в реактиве «Nital». x100

Таким образом, на основании полученных результатов при проведении исследований можно сделать вывод о том, что трещинообразование происходит в теле непрерывнолитой заготовки в процессе ее кристаллизации в кристаллизаторе. При последующей прокатке, видоизменяясь, образуются трещины на поверхности горячекатаного проката. Процесс охлаждения металла в кристаллизаторе происходит в результате циркуляции охлаждающей жидкости в зазоре между гильзой и рубашкой кристаллизатора. Конструктивно данный зазор выполнен неизменным по сечению и соответственно обеспечивает более интенсивный теплоотвод в районе угла кристаллизатора в сравнении с гранями [5]. По нашему мнению, так формируются условия для неравномерной усадки корочки заготовки, а также образуется больший зазор в районе угла и соответственно более интенсивное воздействие ферростатического давления жидкого металла в этой зоне, что в последующем приводит к образованию усадочных напряжений и возможному появлению дефектов на условной границе, соответствующей зоне более равномерного теплообмена.

Для решения данной проблемы требуется проведение дополнительных исследований теплообменных процессов в зоне кристаллизатора и установление оптимальных условий кристаллизации НЛЗ с учетом особенностей сплава, скорости вытяжки и других технологических параметров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гуляев А. П. *Металловедение*. М.: Металлургия, 1986. 542 с.
2. Дюдкин Д. А., Кисиленко В. В. *Производство стали*. М.: Теплотехник, 2009. Т. 4.
3. Буяркоковский Г. А., Минизон Р. Д. *Поверхностные дефекты легированных сталей*. М.: Металлургия, 1987.
4. Правосудович В. В., Сокуренок В. П. *Дефекты стальных слитков и проката*. М.: Интермет Инжиниринг, 2006. 382 с.
5. Смирнов А. Н., Куберский С. В., Штепан Е. В. *Непрерывная разливка стали*. Донецк, ДонНТУ, 2011. 482 с.

#### REFERENCES

1. Guljaev A. P. *Metallovedenie* [Metallurgy]. Moscow, Metallurgija Publ., 1986, 542 p.
2. Djudkin D. A., Kisilenko V. V. *Proizvodstvo stali* [Steel production]. Moscow, Teplotehnik Publ., 2009, vol.4.
3. Bujarkovskij G. A., Minizon R. D. *Poverhnostnye defekty legirovannyh stalej* [Surface defects of alloy steels]. Moscow, Metallurgija Publ., 1987.
4. Pravosudovich V. V., Sokurenko V. P. *Defekty stal'nyh slitkov i prokata* [Defects in steel ingots and rolled products]. Moscow, Intermet Inzhiniring Publ., 2006, 382 p.
5. Smirnov A. N., Kuberskij S. V., Shtepan E. V. *Nepreryvnaja razlivka stali* [Continuous casting of steel.]. Doneck, DonNTU Publ., 2011, 482 p.



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-61-64>  
УДК 621.771.42:621.78

Поступила 22.07.2021  
Received 22.07.2021

## КОНТРОЛЬ СПОСОБНОСТИ К ВОЛОЧЕНИЮ КАТАНКИ ИЗ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

В. П. ФЕТИСОВ, г. Орел, Россия. E-mail: [olga1560@yandex.ru](mailto:olga1560@yandex.ru)

*Предложен показатель деформационной способности катанки из углеродистой стали, учитывающий склонность металла к упрочнению, и общий уровень пластических свойств, и определены технологические подходы назначения оптимального суммарного обжатия до промежуточной термической обработки при волочении низкоуглеродистой катанки и катанки для металлокорда.*

**Ключевые слова.** Структурное состояние, максимальная вытяжка за переход, степень упрочнения, деформационная способность, накопление необратимой повреждаемости.

**Для цитирования.** Фетисов, В. П. Контроль способности к волочению катанки из углеродистой стали / В. П. Фетисов // Литье и металлургия. 2021. № 3. С. 61–64. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-61-64>.

## CONTROLLING THE DRAWABILITY OF CARBON STEEL WIRE ROD

V. P. FETISOV, Orel city, Russia. E-mail: [olga1560@yandex.ru](mailto:olga1560@yandex.ru)

*The author proposed an indicator of the deformation capacity of carbon steel wire rod, which took into account the tendency of the metal to hardening and the general level of plastic properties, and determined technological approaches to the designation of the optimal total reduction before intermediate heat treatment by drawing low carbon wire rod and wire rod for metal cord.*

**Keywords.** Structural condition, maximum stretch per transition, degree of hardening, deformation capacity, accumulation of irreversible damage.

**For citation.** Fetisov V. P. Controlling the drawability of carbon steel wire rod. Foundry production and metallurgy, 2021, no. 3, pp. 61–64. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-61-64>.

Способность к волочению (деформируемость) катанки характеризуется достигнутым уровнем единичных обжатий за переход и суммарных обжатий до промежуточной термической обработки.

Одним из способов предварительной оценки деформируемости катанки является определение при однократном волочении максимальной вытяжки за переход ( $\mu_{\max}$ ), при которой отсутствует дополнительное (менее диаметра волокна) уменьшение диаметра проволоки на выходе из волокна [1].

Проведенные исследования показали [1], что повышение  $\mu_{\max}$  отмечается с увеличением размера зерна феррита в низкоуглеродистой стали и для более дисперсной структуры в перлитной стали. Так, для катанки Ст 0м ( $C = 0,11\%$ ) в горячекатаном состоянии максимальная вытяжка за переход составляет 2,70 против 2,60; 2,55 и 2,36 после одностадийного ускоренного охлаждения с температурой смотки ( $T_{\text{см}}$ , °C) катанки в бунт соответственно 800; 700 и 600 °C, а для перлитной стали 70:  $\mu_{\max} = 2,30$  после патентирования и 2,0 после отжига на грубопластинчатый перлит. В первом случае повышение деформируемости с ростом размера зерна феррита (5–6-й балл для горячекатаного состояния, 7–8-й балл для  $T_{\text{см}} = 800$  °C, 8–9-й балл для  $T_{\text{см}} = 700$  °C и 10–11-й балл для  $T_{\text{см}} = 600$  °C) обусловлено увеличением способности металла к деформационному упрочнению. Так, показатель степени деформационного упрочнения при волочении  $n_b$  в выражении  $\sigma_b = \sigma_b^* (\ln \mu)^{n_b}$  ( $\sigma_b$  – временное сопротивление разрыву;  $\sigma_b^*$  – коэффициент прочности, равный  $\sigma_b$  при  $\ln \mu = 1$ ;  $\ln \mu$  – истинная степень деформации при волочении) возрастает соответственно с 0,14; 0,19; 0,21 до 0,30 для катанки в горячекатаном состоянии. Применительно к перлитной стали в качестве основного фактора роста максимальной вытяжки за переход выступает пластичность металла, связанная с морфологией карбидной фазы:  $\psi = 46\%$  для патентированного состояния (пластинчатый перлит балла 1) и  $\psi = 22\%$  после отжига (пластинчатый перлит балла 4–5), несмотря на увеличение показателя  $n_b$  с 0,096 до 0,175 для отожженного состояния.

Эффективность прямого метода контроля деформируемости с помощью максимальной вытяжки за переход очевидна, однако получаемые результаты зависят также от условий волочения.

В работе [2] для катанки из высокоуглеродистой стали установлена повышенная чувствительность в отношении способности к волочению от структурных изменений. При этом механические характеристики не являются критерием способности металла к волочению, а наиболее надежны данные электронно-микроскопических исследований для контроля деформируемости.

Целью настоящей работы является разработка критерия деформируемости катанки из углеродистой стали на базе стандартных механических испытаний при растяжении и определение технологических подходов назначения оптимального суммарного обжатия до промежуточной термической обработки применительно к низкоуглеродистой катанке и катанке для металлокорда.

Учитывая различное влияние параметров деформационного упрочнения и показателей пластичности на деформируемость низкоуглеродистой и перлитной стали, рассмотрим возможность использования универсального показателя деформационной способности в виде  $P_{дс} = Y\sigma_b + Y\psi$ , где  $Y\sigma_b = (\sigma_b - \sigma_T) / \sigma_T$  – показатель степени относительного прироста прочности (показатель интенсивности деформационного упрочнения);  $Y\psi = (F_0 - F_k) / F_k$  – показатель степени относительного уменьшения площади сечения при растяжении (показатель интенсивности сужения). Проведенные исследования [1,3] показали, что  $Y\sigma_b$  и  $Y\psi$  являются более структурно чувствительными характеристиками по сравнению с показателем степени деформационного упрочнения при волочении и относительным сужением.

В табл. 1, 2 приведено изменение традиционных показателей  $\sigma_b$ ,  $\sigma_T$ ,  $\psi$  и  $P_{дс}$  в зависимости от размера зерна феррита в стали 15кп и межпластиночного расстояния в стали 80. Максимальные значения  $P_{дс}$  наблюдаются для крупнозернистой низкоуглеродистой стали (3,49 против 2,75) (табл. 1) и для более дисперсной перлитной стали (1,57 против 1,12) (табл. 2), что полностью отражает изложенный ранее характер изменения максимальной вытяжки за переход в зависимости от структурного состояния углеродистой стали и свидетельствует об его эффективности.

Таблица 1. Влияние размера зерна феррита ( $d$ ) на изменение механических свойств и показателей  $Y\sigma_b$ ,  $Y\psi$ ,  $P_{дс}$  при растяжении стали 15 кп со скоростью  $10^{-3} \text{ с}^{-1}$  и при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$

$d$ , мм	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\psi$ , %	$Y\sigma_b$	$Y\psi$	$P_{дс} = Y\sigma_b + Y\psi$
0,016	417,5	274,4	69	0,52	2,23	2,75
0,022	398,9	237,2	69	0,68	2,23	2,91
0,042	379,3	191,1	68	0,98	2,12	3,10
0,069	350,8	151,9	65	1,31	1,86	3,17
0,11	345,0	131,3	65	1,63	1,86	3,49

Таблица 2. Влияние межпластиночного расстояния в перлите ( $\Delta$ ) на изменение механических свойств и показателей  $Y\sigma_b$ ,  $Y\psi$ ,  $P_{дс}$  при растяжении стали 80 со скоростью  $10^{-3} \text{ с}^{-1}$  и при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$

$\Delta$ , мм	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{0,2}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\psi$ , %	$Y\sigma_b$	$Y\psi$	$P_{дс} = Y\sigma_b + Y\psi$
0,000088	1231,9	911,4	55	0,35	1,22	1,57
0,000142	1033,9	730,1	48	0,42	0,92	1,34
0,000296	945,7	521,4	31	0,81	0,45	1,26
0,000540	799,7	411,6	15	0,94	0,18	1,12

Предложенный показатель деформационной способности, определяемый при стандартных испытаниях, может быть использован при назначении суммарного обжатия катанки Ст 0м и Ст 1 кп для проволоки диаметром 0,28–0,70 мм для тканой сетки и проволоки общего назначения, структура и механические свойства которых должны обеспечить возможность стабильного волочения без промежуточного отжига на заготовку диаметром 1,0–1,2 мм с суммарной степенью деформации 96,6–97,6%. При этом стабильность многократного волочения оценивается методом эстафеты при переработке катанки со свойствами, установленными по результатам контроля  $P_{дс}$ .

В работе [4] применительно к перлитной стали предлагается при назначении суммарного обжатия волочения передельной заготовки учитывать накопление необратимой повреждаемости в виде не заживающихся при последующем патентировании микротрещин, негативное влияние которых проявляется в росте обрывности при микроволочении и свивке, а также в снижении усталостной долговечности латунированной проволоки и металлокорда [1]. Поэтому для оценки деформируемости перлитной стали необходимо показатель  $P_{дс}$  дополнить контролем накопления необратимой повреждаемости холоднодеформируемой проволоки.

В табл. 3 представлены результаты контроля методом гидростатического взвешивания прироста удельного объема холоднодеформируемой стали при волочении катанки для металлокорда диаметром 5,5 мм из высокочистой стали 70 [1]. До суммарного обжатия 87,2% происходит монотонный прирост удельного объема, а при дальнейшей деформации отмечается резкое возрастание из-за возникающих дефектов структуры и требуются дополнительные технологические приемы для его уменьшения, в том числе чередование процесса волочения с деформацией (без уменьшения диаметра проволоки) знакопеременным изгибом с растяжением (ЗПИР). Эффективность применения дополнительной деформации ЗПИР на последних переходах в маршруте волочения отражена в результатах экспериментов, приведенных в табл. 3.

Таблица 3. Влияние суммарного обжатия на прирост удельного объема холоднодеформированной стали в процессе традиционного волочения (числитель) и при чередующихся процессах деформации волочением и знакопеременным изгибом с растяжением (знаменатель) катанки диаметром 5,5 мм из высокочистой стали 70

Диаметр проволоки, мм	Суммарная степень деформации, %	Прирост удельного объема, %
4,60	30,0	$\frac{0,12}{-}$
3,20	66,5	$\frac{0,24}{-}$
1,97	87,2	$\frac{0,40}{0,30}$
1,60	91,5	$\frac{1,20}{0,50}$
1,30	94,4	$\frac{1,30}{0,60}$

Пластическая деформация перлитной стали характеризуется повышенной неоднородностью распределения дислокаций и возникновением в локальных объемах напряжений, превышающих предел прочности материала, релаксация которых сопровождается образованием и развитием микротрещин. Наблюдаемое при ЗПИР деформационное (атермическое) разупрочнение [5] обеспечивает релаксацию локальных пиковых напряжений еще до образования микротрещин, что приводит к снижению прироста удельного объема холоднодеформированной стали (табл. 3).

Практическая реализация приведенного технологического приема снижения накопления необратимой повреждаемости обеспечивается при применении на последних переходах волочильных блоков стана петлевого типа для волочения и дополнительной деформации ЗПИР по евразийскому патенту № 006670.

### Выводы

1. Необходимыми условиями повышения деформируемости катанки из углеродистой стали являются:

- увеличение размера зерна феррита, снижение прочностных свойств и рост интенсивности деформационного упрочнения для низкоуглеродистой стали;
- повышение дисперсности структурных составляющих и рост пластических свойств для перлитной стали.

2. Для предварительной оценки деформируемости предложен, определяемый при стандартных механических испытаниях, показатель деформационной способности  $L_{дс} = Y\sigma_b + Y\psi$ , учитывающий склонность металла к упрочнению и общий уровень пластических свойств.

3. Назначение суммарного обжатия до промежуточной термической обработки осуществляется с учетом показателя  $L_{дс}$  и после контроля стабильности процесса многократного волочения низкоуглеродистой катанки методом эстафеты и определения прироста удельного объема холоднодеформируемой стали в процессе волочения катанки для металлокорда.

4. Одним из эффективных способов снижения накопления необратимой повреждаемости холоднодеформированной перлитной стали является чередование процесса волочения с дополнительной деформацией знакопеременным изгибом с растяжением.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Фетисов, В. П.** Деформационное упрочнение углеродистой стали / В. П. Фетисов. М.: Мир, 2005. 200 с.
2. **Moroz P., Donald F., James J.** The role of optical and electron microscopy in evaluating lead patented high-carbon steel rods // Wire. 1974, № 1. P.5 1–59.
3. **Фетисов, В. П.** Оценка пластичности при деформации углеродистой стали / В. П. Фетисов // Литье и металлургия. 2019. № 3. С. 85–88.
4. **Гриднев, В. Н.** Прочность и пластичность холоднодеформированной стали / В. Н. Гриднев, В. Г. Гаврилюк, Ю. Я. Мешков. Киев: Наукова думка, 1974, 231 с.
5. **Фетисов, В. П.** Деформационное старение стали при волочении проволоки / В. П. Фетисов. Минск: Белорганкинпромиздат, 1996. 120 с.

## REFERENCES

1. **Fetisov V.P.** *Deformacionnoe uprochnenie uglerodistoj stali* [Carbon steel strain hardening]. Moscow, Mir Publ., 2005, 200 p.
2. **Moroz P., Donald F., James J.** The role of optical and electron microscopy in evaluating lead patented high-carbon steel rods. Wire, 1974, vol 1. P. 51–59.
3. **Fetisov V.P.** Ocenka plastichnosti pri deformacii uglerodistoy stali. Evaluation of plasticity during deformation of carbon steel// *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*. 2019, no. 3, pp. 85–88.
4. **Gridnev V.N., Gavriljuk V.G., Meshkov Ju. Ja.** *Prochnost' i plastichnost' holodnodeformirovannoj stali* [Strength and ductility of cold-rolled steel]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1974, 231 p.
5. **Fetisov V.P.** *Deformacionnoe starenie stali pri volochenii provoloki* [Deformational aging of steel during wire drawing]. Minsk, Belorgstankinpromizdat Publ., 1996, 120 p.



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-65-73>  
УДК 669

Поступила 13.08.2021  
Received 13.08.2021

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ПОДШИПНИКОВЫХ МАРОК СТАЛИ НА СТАНЕ 370/150

*В. С. ПУТЕЕВ, С. А. САВЧЕНКО, И. А. ПАНКОВЕЦ, В. И. ВОЗНАЯ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37.*

*E-mail: par.espc@bmz.gomel.by. Тел.: +375-29-3263027*

*И. В. АСТАПЕНКО, ГГТУ им. П. О. Сухого, г. Гомель, Беларусь, пр. Октября, 48.*

*E-mail: astapenko@tut.by*

*Рассмотрена актуальная проблема получения сортового проката из подшипниковых марок стали с заданными характеристиками по микроструктуре. Проведен анализ возможностей имеющегося оборудования – нагревательной печи и прокатного стана 370/150 ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» с целью внедрения технических мероприятий, направленных на снижение карбидной неоднородности в продукции из подшипниковых марок стали на примере стали марки 100Cr6.*

*Исследовано влияние разных режимов предварительной термической подготовки непрерывнолитых заготовок из подшипниковых марок стали на карбидную неоднородность в готовом прокате. По результатам исследований определен оптимальный режим термообработки непрерывнолитой заготовки, позволяющий производить прокат, удовлетворяющий самым высоким требованиям потребителей.*

**Ключевые слова.** Подшипниковая сталь, непрерывнолитая заготовка, температурный режим прокатки, деформационный режим прокатки, дефекты микроструктуры стали, карбидная неоднородность (сегрегация), моделирование.

**Для цитирования.** Путеев, В. С. Совершенствование технологического процесса производства подшипниковых марок стали на стане 370/150 / В. С. Путеев, С. А. Савченко, И. А. Панковец, В. И. Возная, И. В. Астапенко // Литье и металлургия. 2021. № 3. С. 65–73. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-65-73>.

## IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF MANUFACTURING BEARING GRADES OF STEEL AT THE 370/150 MILL

*V. S. PUTEEV, S. A. SAVCHENKO, I. A. PANKOVETS, V. I. VOZNAJA, OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC”, Zhlobin, Gomel Region, Belarus, 37, Promyshlennaya str.*

*E-mail: par.espc@bmz.gomel.by. Tel: +375-29-3263027*

*I. V. ASTAPENKO, Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoi, Gomel, Belarus, 48, October Ave.*

*E-mail: astapenko@tut.by*

*The actual problem of obtaining long products from bearing steel grades with specified microstructure characteristics is considered. The analysis of the capabilities of the existing equipment – a heating furnace and a rolling mill 370/150 of OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC” was carried out in order to introduce technical measures aimed at reducing carbide heterogeneity in products made of bearing steel grades on the example of steel grade 100Cr6.*

*The influence of different modes of preliminary thermal preparation of continuously cast billets from bearing steel grades on the carbide inhomogeneity in the finished rolling is studied. According to the results of the research, the optimal mode of heat treatment of a continuously cast billet was determined, which allows to produce rolled products that meet the highest requirements of consumers.*

**Keywords.** Bearing steel, continuously cast billet, rolling temperature mode, rolling deformation mode, steel microstructure defects, carbide inhomogeneity (segregation), modeling.

**For citation.** Puteev V. S., Savchenko S. A., Pankovets I. A., Voznaja V. I., Astapenko I. V. Improvement of the technological process of manufacturing bearing grades of steel at the 370/150 mill. Foundry production and metallurgy, 2021, no. 3, pp. 65–73. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-65-73>.

## Введение

В настоящее время большим спросом пользуется горячекатаный прокат из подшипниковых марок стали, к которому предъявляются достаточно жесткие требования. Важнейшие характеристики, оказывающие влияние на обрабатываемость подшипниковых сталей и эксплуатационные свойства изготовленных из них изделий, определяются однородностью структуры проката. Заэвтектоидные стали ввиду высокого содержания углерода 0,95–1,10% предрасположены к развитию ликвационных процессов при кристаллизации, следствием чего и является карбидная и структурная неоднородность подшипниковых сталей.

Карбидная и структурная неоднородность, как и крупные неметаллические включения, являются концентраторами микронапряжений в процессе эксплуатации деталей подшипников, приводят к их преждевременному хрупкому разрушению (выкрашивание, выщербинообразование, растрескивание и др.). Для получения материала с высоким сопротивлением контактно-усталостному разрушению нужно обеспечить однородность химического и фазового (структурного) составов сплава.

Формирование структуры заготовки при непрерывной разливке происходит при интенсивном охлаждении в нескольких зонах, тонкая корочка – в кристаллизаторе, основная масса металла кристаллизуется ниже – в зоне вторичного охлаждения. В структуре заготовки обычно явно различимы три зоны: корка – зона мелких беспорядочно ориентированных кристаллов; зона столбчатых кристаллов и осевая – зона равноосных беспорядочно ориентированных кристаллов.

Осевая зона непрерывнолитой заготовки (НЛЗ) является тепловым центром, затвердевающим в последнюю очередь. Этот тепловой центр постоянно присутствует в заготовке и не может быть удален или выведен. В осевой зоне повышена концентрация ликватов и отмечаются следы усадочных явлений (рис. 1).

Карбидная ликвация, карбидная полосчатость и карбидная сетка [1, 2] формируются на этапе выплавки и разливки стали. При разработке технологии прокатного производства, в том числе термической обработки НЛЗ перед прокаткой, необходимо предусматривать мероприятия, направленные на минимизацию проявления этих несоответствий.

Карбидная ликвация, образовавшаяся при разливке заготовок из подшипниковых сталей, представляет собой продукт резко выраженной дендритной ликвации, приводящей к кристаллизации участков метастабильного ледебурита (рис. 2, а). В процессе деформации металла ледебуритные участки принимают вид грубых строчек (рис. 2, б).

Карбидная полосчатость обусловлена карбидной ликвацией и дендритной неоднородностью. В подшипниковой стали ликвация углерода и хрома идет одновременно, но карбиды распределяются по объему стали неравномерно, что приводит к дендритной, а в дальнейшем и к полосчатой карбидной неоднородности. На карбидную полосчатость оказывает влияние степень деформации металла при прокатке, в деформированном металле на специально подготовленных продольных микрошлифах она имеет вид светлых полос с низкой плотностью карбидов, ориентированных в направлении прокатки (рис. 2, в).

Карбидная сетка по границам аустенитного зерна в осевой зоне образуется как при кристаллизации заготовки (рис. 3, а), так и при прокатке заэвтектоидных сталей с невысокой скоростью охлаждения в интервале температур 700–850 °С (рис. 3, б).

Из литературных данных известно, что для получения однородной структуры прутка из подшипниковой стали необходимо раздробить сетку, что обеспечивается в определенной мере формированием мелкого зерна [3, 4]. Основными факторами, определяющими величину роста зерна металла при горячей прокатке с рекристаллизацией, являются степень деформации (рис. 4, а) и температура конца прокатки (рис. 4, б).

Из рис. 4, а видно, что в интервале деформаций 5–25% происходит активный рост рекристаллизованного зерна, в интервале деформаций свыше 25% получается мелкозернистая структура.

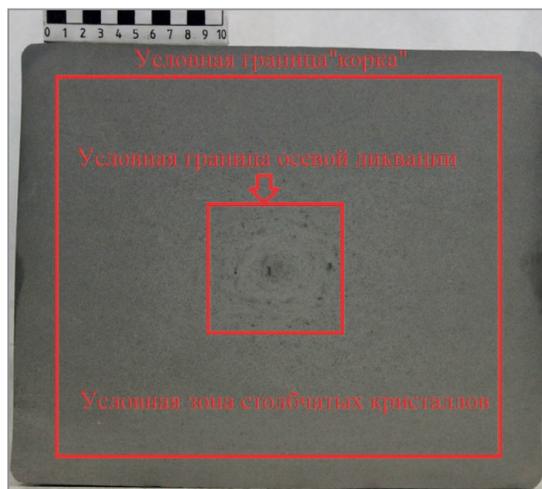


Рис. 1. Внешний вид поперечного сечения темплетта

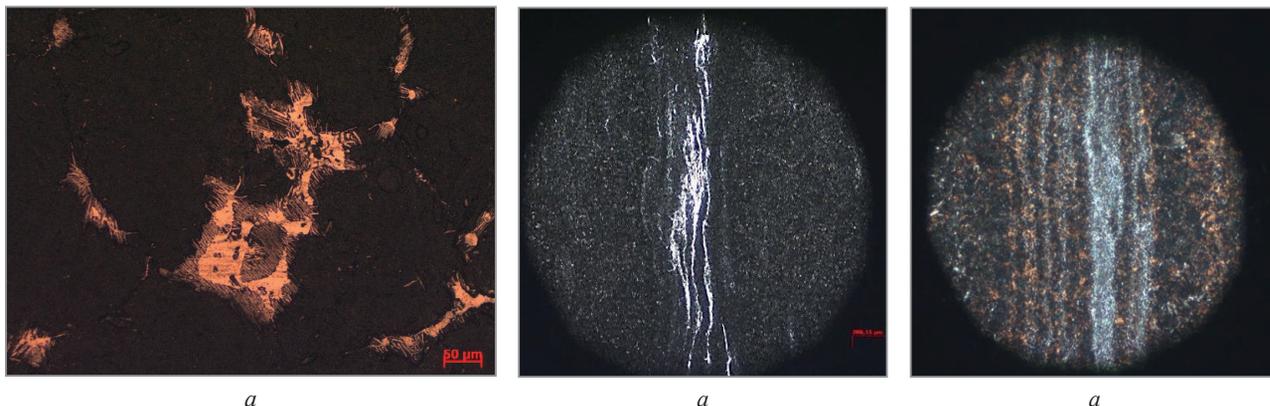


Рис. 2. Карбидная ликвация в структуре стали марки 100Cr6, травление в 10%-ном растворе азотной кислоты в спирте:  
 а – карбидная ликвация в осевой зоне НЗЛ. х200;  
 б – карбидная ликвация и карбидная полосчатость в осевой зоне горячекатаного прутка. х100

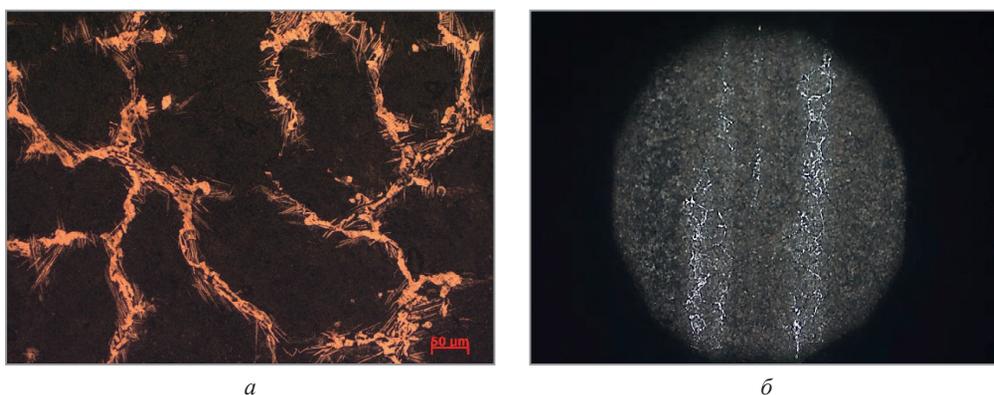


Рис. 3. Карбидная сетка в структуре стали марки 100Cr6, травление в 10%-ном растворе азотной кислоты в спирте:  
 а – карбидная сетка в осевой зоне НЗЛ. х200; б – карбидная сетка в осевой зоне горячекатаного прутка. х200

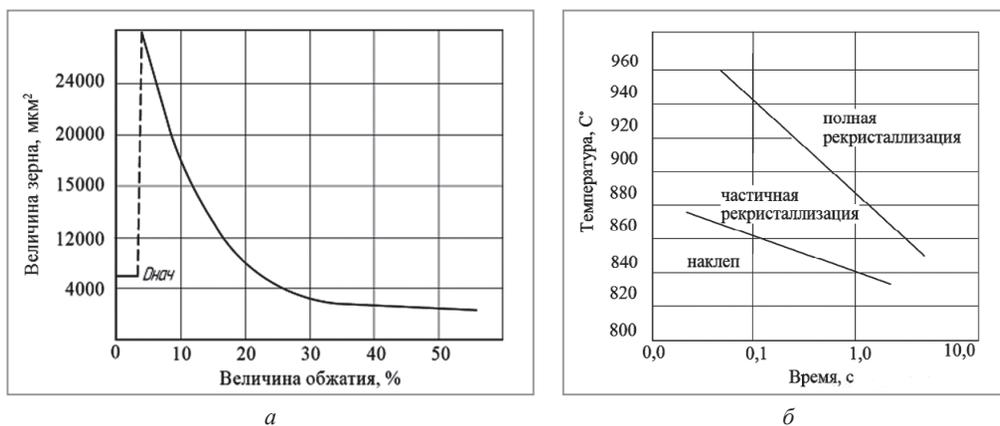


Рис. 4. Влияние деформационных и температурных параметров прокатки на структуру проката из подшипниковых сталей:  
 а – зависимость размера зерна от степени деформации; б – влияние температуры конца прокатки на рекристаллизацию

Из рис. 4, б видно, что при температуре конца прокатки свыше 960 °С происходит полная рекристаллизация структуры, при температуре 840–950 °С – частичная. Выделение карбидов по границам зерен можно минимизировать достаточно высокой скоростью охлаждения в интервале температур 700–850 °С.

### Анализ эмпирических данных

Влияние на структуру проката из подшипниковых сталей деформационного режима прокатки в отличие от температурного изучено не так широко и при расчете калибровок сортовых профилей зачастую не учитывается [5].

Система калибров в условиях стана 370/150 универсальна. Наибольшая доля продукции из подшипниковых сталей приходится на круги диаметром от 36 до 50 мм. Деформационные режимы в редуционно-калибровочном блоке (РКБ) зависят от конечного диаметра и приведены в табл. 1.

Таблица 1. Режимы обжатия в чистовых клетях для сортовых профилей стана 370/150

Профиль, мм	Коэффициент вытяжки		Профиль, мм	Коэффициент вытяжки	
	РКБ (22, 23, 24)	суммарная		РКБ (22, 23, 24)	суммарная
34	1,102	1,351	45	1,316	1,719
	1,184			1,281	
	1,077			1,051	
35	1,130	1,303	48	1,218	1,512
	1,137			1,214	
	1,056			1,054	
36	1,317	1,774	50	1,139	1,395
	1,294			1,199	
	1,067			1,052	

Из таблицы видно, что при производстве кругов диаметром от 36 до 50 мм только для профилей 36 и 45 мм режимы обжатий в клети № 22 удовлетворяют условиям диаграммы рис. 4, а для мелкозернистой структуры вытяжка составляет 1,317 (32%), для остальных диаметров приведенного диапазона – 1,10–1,14 (10 – 14%) [6, 7].

Существующая технология обеспечивает уровень карбидной сетки на горячекатаном круге максимум CN 5.7 по шкале немецкого стандарта SEP 1520. В связи с появлением регламентированных требований заказчика по карбидной сетке максимум CN 5.4 возникла необходимость адаптации существующей технологии проката под новые требования потребителя. Для этого была проведена поэтапная корректировка температурных режимов прокатки путем последовательного снижения температуры конца проката на трех кампаниях (табл. 2).

Таблица 2. Параметры прокатки по трем кампаниям

Профиль, мм	Температура, °С			Карбидная сетка CN5, балл	Карбидная ликвация сомкнутая CZ6, балл	Карбидная ликвация раздробленная CZ7, балл
	гидросбив	РКБ	холодильник			
1-я кампания						
36	1130	960	875	5,4	6,2	7,2
45	1115	940	850	5,7	6,3	7,3
2-я кампания						
36	1095	940	835	5,3	6,2	7,2
45	1110	865	770	5,3	6,2	7,3
3-я кампания						
36	1060	905	795	5,2	6,3	7,2
45	1090	835	735	5,1	6,3	7,2

Из таблицы видно, что деформация с более низкой температурой по всему стану приводит к снижению карбидной сетки. На величину карбидной ликвации и карбидной полосчатости температура конца прокатки не повлияла. При анализе результатов наилучший эффект достигнут при температурно-скоростном режиме 3-й кампании. Максимальное значение карбидной сетки не превысило 5,2 балла в центре и на поверхности, что обеспечивает требования потребителей.

В качестве критерия приемлемости технологических решений принято выполнение контрактных обязательств перед потребителями подшипниковых марок стали:

1) центр (30% диаметра), балл, не более – карбидная сетка CN 5,4, карбидная ликвация сомкнутая CZ 6,3, карбидная ликвация раздробленная CZ 7,4;

2) поверхность, балл, не более – карбидная сетка CN 5,2, карбидная ликвация сомкнутая CZ 6,2, карбидная ликвация раздробленная CZ 7,3.

Действующий технологический процесс обеспечивает выполнение указанных требований. Однако отдельные потребители продукции предъявляют более жесткие требования к уровню карбидной

сегрегации по всему сечению, включая центр: карбидная сетка не более CN 5,3, карбидная ликвация сомкнутая не более CZ 6,2, карбидная ликвация раздробленная не более CZ 7,3 балла.

Для исследования и выбора оптимальных технологических решений разработана стратегия по исследованию факторов, а также степени их влияния, способствующих снижению карбидной неоднородности в подшипниковых марках стали. Основная цель работы – установить степень влияния режимов нагрева НЛЗ на величину карбидной неоднородности в готовом прокате из подшипниковых марок стали и определить оптимальный технологический маршрут производства сортового проката на стане 370/150 для достижения требуемой микроструктуры.

### Материалы и методы исследования влияния термообработки НЛЗ из подшипниковых сталей на качество структуры проката

Нагрев заготовок перед прокаткой на стане 370/150 производится в методической, комбинированной печи с шагающим подом, с верхним и нижним нагревом. Печь предназначена для нагрева заготовок до температуры прокатки, с максимальной температурой в зоне томления 1260 °С, что позволяет проводить гомогенизацию подшипниковых сталей. Цель гомогенизации – растворение избыточных фаз и выравнивание химического состава сплава.

Диффузионное растворение карбидной ликвации начинается при температуре 1100 °С, но процесс при этой температуре протекает медленно. Интенсивное растворение карбидов происходит при температуре 1150–1170 °С, когда ледебуритные участки начинают оплаиваться, и встречная диффузия элементов резко возрастает. Однако не рекомендуется нагревать металл выше 1180 °С, так как при этом происходит значительное оплавление ледебуритных участков и возникновение в них разрывов металла при прокатке [8].

Карбидная сетка, окаймляющая микрозерна металла сплошным рисунком, при отжиге разрушается и растворяется до полного исчезновения. Чем меньше балл карбидной сетки в готовом сорте, тем выше качество отожженной стали, лучше ее механическая обрабатываемость и выше стойкость закаленных деталей подшипников [9–12].

### Порядок выполнения исследовательской работы

После выплавки и разливки стали 100Cr6–3 отобраны четыре пробы сечением 250x300 мм каждого ручья машины непрерывного литья заготовок с последующей маркировкой и передачей для исследования в лабораторию. От каждого блюма для исследования был отобран один темплет. Оценка качества НЛЗ была выполнена в соответствии с ГОСТ Р 58228–2018 (табл. 3).

Таблица 3. Результаты оценки макроструктуры поперечного сечения НЛЗ

Номер ручья/блюма	ГОСТ Р 58228–2018, балл						
	ЦП	ОЛ	ЛПТоб	ЛПТос	ЛПТугл	СП	КТЗ
A05	1,5	2,0	0	0	0	0	0,5
B05	2,0	2,0	0	0	0	0	0
C05	2,0	2,0	0	0	0,5/5	0	0
D05	2,5	2,0	0	0	0	0	0,5

Из таблицы видно, что макроструктура НЛЗ со всех четырех ручьев находится на одном уровне – осевая ликвация во всех случаях составила 2 балла.

От каждого темплета были вырезаны по три образца для исследования микроструктуры согласно схеме, приведенной на рис. 4.

Вырезанные из блюмов образцы для выявления карбидной неоднородности предварительно подвергали закалке с температуры 850 °С с последующим отпуском при 180 °С. Приготовленные пробы травили в 10%-ном растворе азотной кислоты в спирте до черноты для четкого проявления карбидов на фоне матрицы.

Микроструктура образцов, вырезанных (рис. 5) из блюмов A05, B05, C05 и D05, является характерной для литого изделия из заэвтектонидных сталей с содержанием углерода порядка 1%

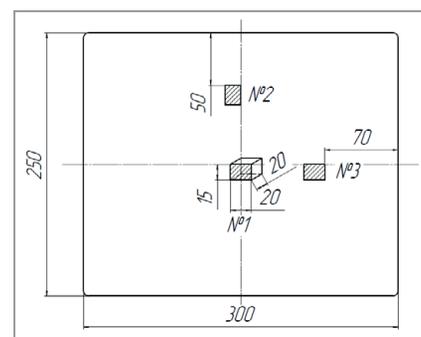


Рис. 5. Схема вырезки проб для исследования микроструктуры

и представляет собой крупнозернистую перлитную смесь с выделением цементита II. После закалки микрошлифа избыточные карбиды четко выражены на фоне мартенситной матрицы. В разных зонах НЛЗ концентрация избыточных карбидов различна (рис. 6). Максимальное количество карбидов сконцентрировано в осевой зоне заготовки как в виде отдельных глобулей, так и в виде грубой сетки по границам литого зерна (рис. 6, *a*). В середине малого и большого радиуса имеет место выделение единичных частиц карбидов. Существенного различия в микроструктуре заготовки с разных ручьев не отмечено.

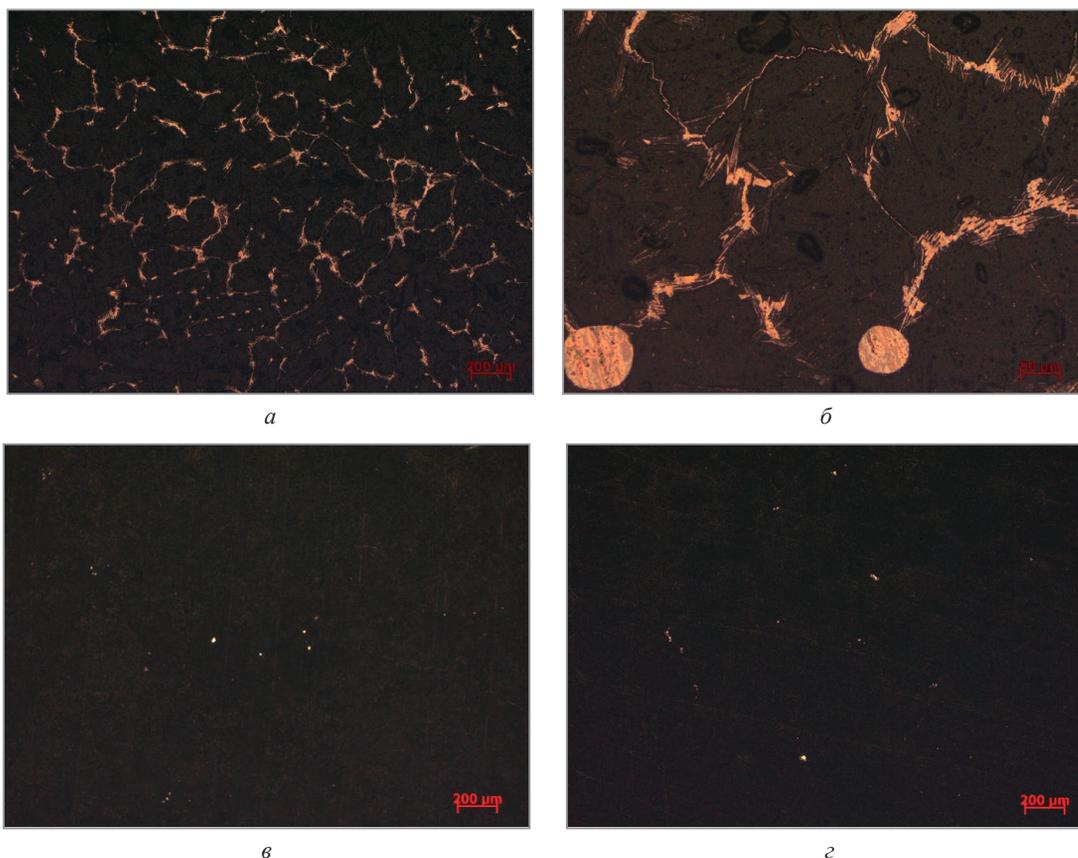


Рис. 6. Микроструктура образца А05: *a*, *б* – фрагменты осевой зоны № 1.  $\times 50$  (*a*),  $\times 200$  (*б*); *в* – фрагмент середины малого радиуса № 2.  $\times 100$ ; *г* – фрагмент середины большого радиуса № 3.  $\times 100$

Для определения влияния режимов нагрева на величину карбидной неоднородности был проведен нагрев НЛЗ перед прокаткой по трем режимам:

- вариант № 1 (образец А05) – нагрев в нагревательной печи стана 370/150 в течение 360 мин (табл. 4);
- вариант № 2 (образцы С05 и В05) – нагрев в нагревательной печи стана 370/150 в течение 600 мин по опытной карте нагрева (табл. 5) с последующей выдачей НЛЗ на аварийную решетку; повторный нагрев в течение 200 мин по штатной карте нагрева (см. табл. 4);
- вариант № 3 (образец D05) – нагрев НЛЗ в подогревательной печи стана 850 в течение 600 мин (табл. 6) с последующей выдачей на аварийную решетку; замедленное охлаждение под термоколпаками до температуры окружающей среды (36 ч); повторный нагрев в печи стана 370/150 в течение 200 мин по штатной карте нагрева (см. табл. 4).

Таблица 4. Режимы нагрева образца А05 в нагревательной печи стана 370/150, вариант 1

Верхняя зона предварительного нагрева	Нижняя зона предварительного нагрева	Верхняя зона основного нагрева	Нижняя зона основного нагрева	Верхняя левая зона томления	Верхняя центральная зона томления	Верхняя правая зона томления	Нижняя торцовая зона томления
Температурный режим работы печи по зонам для проката подшипниковых марок сталей, °С							
860–1050	860–1050	1110–1180	1110–1180	1150–1220	1150–1220	1150–1220	1150–1220
Главным параметром оценки нагрева заготовок является температура поверхности заготовок, измеренная пирометром после прохождения установки гидросбива и должна соответствовать 1090–1180 °С							

Таблица 5. Режим нагрева (гомогенизирующий отжиг) образцов B05 и C05 в нагревательной печи стана 370/150, вариант 2

Верхняя зона предварительного нагрева	Нижняя зона предварительного нагрева	Верхняя зона основного нагрева	Нижняя зона основного нагрева	Верхняя левая зона томления	Верхняя центральная зона томления	Верхняя правая зона томления	Нижняя торцовая зона томления
Температурный режим работы печи по зонам для проката подшипниковых марок сталей, °С							
860–1050	860–1050	1070–1160	1070–1160	1100–1190	1100–1190	1100–1190	1100–1190

Таблица 6. Режим нагрева (гомогенизирующий отжиг) образца D05 в подогревательной печи стана 850, вариант 3

Размер заготовки, мм	Температура в печи по зонам, °С			
	1	2	3	4
250x300x(2900–5500)	1100–1190	1100–1190	1100–1190	1100–1190
Продолжительность нагрева НЛЗ в печи – от 10 до 11 ч. Выдержка в зоне № 4. Соотношение расхода газа и воздуха в диапазоне: зона 1, 2–1:10; зона 3, 4 – от 1:9 до 1:10				

Прокатку блюмов осуществляли в условиях стана 370/150 по действующей технологии на круг диаметром 45 мм.

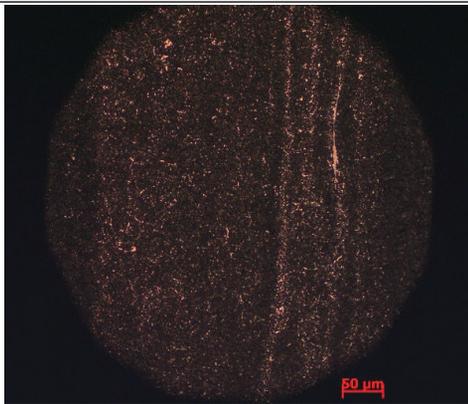
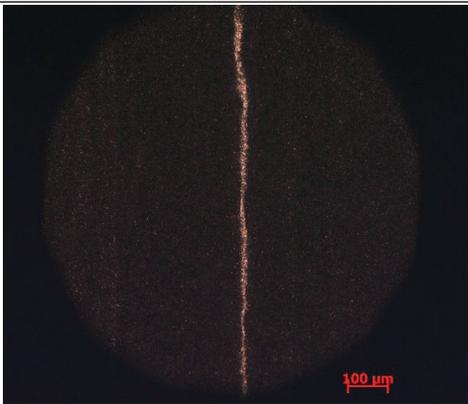
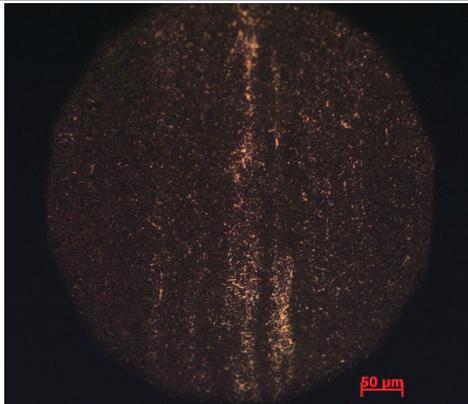
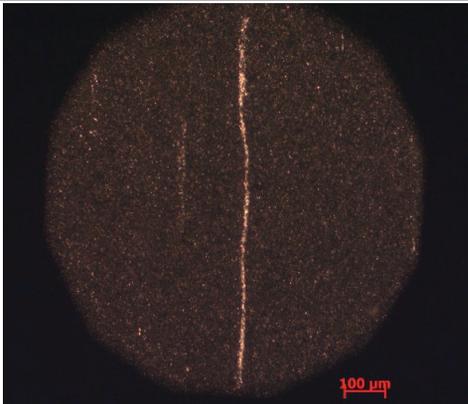
### Результаты исследований

После прокатки были взяты пробы готового круга, произведенные от каждого выделенного блюма A05, B05, C05 и D05. Карбидную неоднородность в готовом прутке оценивали по стандартным шкалам немецкого стандарта SEP 1520 – карбидная сетка CN5, карбидная ликвация в сомкнутой CZ6 и раздробленной CZ7 форме. Микроструктура образцов приведена в табл. 7.

В качестве контрольной группы были использованы образцы из полновесной плавки, которые проходили нагрев и прокатку по штатным режимам.

Результаты оценки карбидной неоднородности даны в табл. 7, 8.

Таблица 7. Микроструктура круга диаметром 45 мм

Карбидная неоднородность в микроструктуре стали марки 100Cr6, травление в 10%-ном растворе азотной кислоты в спирте, поверхность/центр		
Вариант/образец середина радиуса/центр	Карбидная сетка, CN5. x200	Карбидная ликвация CZ6, CZ7. x100
Вариант 1/ Образец A05 CN5.0/5.2 CZ6.0/6.1 CZ7.1/7.2		
Вариант 2/ Образец B05 CN5.0/5.2 CZ6.0/6.1 CZ7.1/7.2		

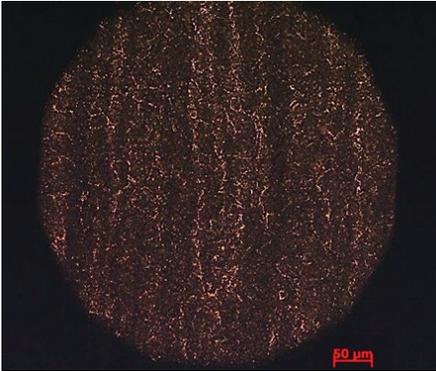
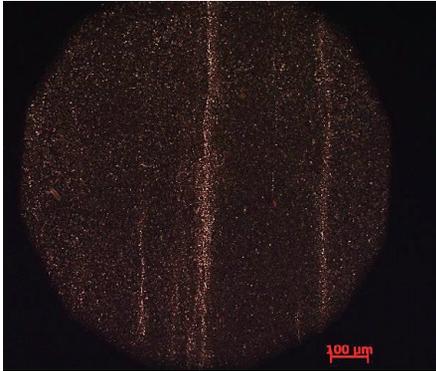
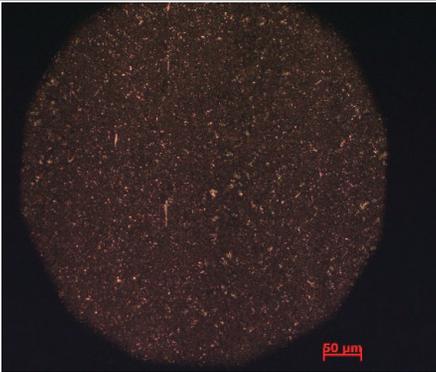
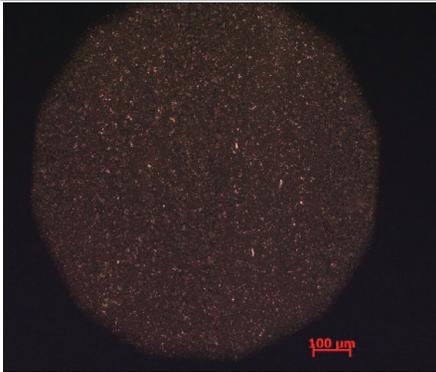
Вариант/образец середина радиуса/центр	Карбидная сетка, CN5. x200	Карбидная ликвация CZ6, CZ7. x100
Вариант 2/ Образец C05 CN5.0/5.4 CZ6.0/6.1 CZ7.0/7.1		
Вариант 3/ Образец D05 CN5.0/5.0 CZ6.0/6.0 CZ7.0/7.0		

Таблица 8. Результаты оценки микроструктуры круга диаметром 45 мм

Ручей МНЛЗ	Образец	Карбидная сетка CN5, середина радиуса/центр, балл	Карбидная ликвация, середина радиуса/центр	
			в сомкнутой форме CZ6, балл	в раздробленной форме CZ7, балл
А	Контрольные образцы	5.0/5.3	6.0/6.1	7.1/7.3
		5.0/5.2	6.0/6.1	7.1/7.2
		5.0/5.1	6.0/6.1	7.1/7.3
	<b>A05</b>	<b>5.0/5.2</b>	<b>6.0/6.1</b>	<b>7.1/7.2</b>
В	Контрольные образцы	5.0/5.4	6.0/6.1	7.2/7.4
		5.0/5.2	6.0/6.1	7.2/7.3
		5.0/5.2	6.0/6.2	7.2/7.2
	<b>B05</b>	<b>5.0/5.2</b>	<b>6.0/6.1</b>	<b>7.2/7.2</b>
С	Контрольные образцы	5.0/5.3	6.0/6.1	7.2/7.4
		5.0/5.3	6.0/6.1	7.1/7.2
		5.0/5.1	6.0/6.1	7.1/7.3
	<b>C05</b>	<b>5.0/5.4</b>	<b>6.0/6.1</b>	<b>7.1/7.2</b>
D	Контрольные образцы	5.0/5.1	6.0/6.1	7.2/7.4
		5.0/5.3	6.0/6.1	7.1/7.3
		5.0/5.2	6.0/6.1	7.3/7.3
	<b>D05</b>	<b>5.0/5.0</b>	<b>6.0/6.0</b>	<b>7.0/7.0</b>

Из таблиц следует, что карбидная неоднородность в образцах A05, B05 и C05 (режимы термообработки варианты № 1 и 2) имеет тот же уровень, что и образцы контрольной группы, отобранные с ручьев А, В и С. Карбидная неоднородность в образце D05 (режим термообработки вариант № 3) значительно ниже, чем в образцах контрольной группы, отобранных с ручья D.

Таким образом, гомогенизирующий отжиг с выдержкой при температуре 1190 °С и последующим замедленным охлаждением под термоколпаками до температуры окружающей среды в течение 36 ч позволяет устранить карбидную неоднородность в непрерывнолитой заготовке и получить горячекатаную подшипниковую сталь с минимальными показателями по карбидной неоднородности CN5.0/5.0, CZ6.0/6.0 и CZ7.0/7.0.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что наиболее эффективный результат был получен по **варианту № 3**, который обеспечивает высокие требования для всего сечения прутка не более – карбидная сетка CN 5.3, карбидная ликвация сомкнутая CZ 6.2, карбидная ликвация раздробленная CZ 7.3.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Спектор, А.Г.** Структура и свойства подшипниковых сталей / А.Г. Спектор, Б.М. Зельберг, С.А. Киселева. М.: Металлургия, 1980. 264 с.
2. Влияние факторов нагрева на формирование карбидной сетки в стали ШХ15СГ / А.Б. Стеблов и др. // Литье и металлургия. 2015. № 2(34). С. 77–80.
3. Оптимизация нагрева заготовок из стали ШХ15СГ перед прокаткой / А.Б. Стеблов, В.И. Тимошпольский, Д.В. Ленартович и др. // Сталь. 2005. № 5. С. 58–61.
4. Снижение карбидной сетки в стали ШХ15СГ / П.И. Ящерицын, В.И. Тимошпольский, Д.В. Ленартович, А.Б. Стеблов // Доклады НАН Беларуси. 2004. Т. 48. № 3. С. 117–121.
5. Особенности горячей прокатки высоких полос в ящичном калибре / И.В. Астапенко, Д.М. Васильков // Современные проблемы машиноведения: материалы XII Междунар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. П.О. Сухому). Гомель, 22–23 нояб. 2018 г. Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2018. С. 114–117.
6. **Стрельченко А.В., Зуев И.А., Астапенко И.В.** Исследование влияния геометрии ящичных калибров валков на образование термоциклических трещин в условиях мелкосортно-проволочного стана горячей прокатки 370/150 ОАО «Белорусский металлургический завод – управляющая компания холдинга «БМК» // Черная металлургия. <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2019-1-80-85>
7. **Стрельченко А.В., Астапенко И.В.** Исследование теплового состояния валков при горячей прокатке сортовых профилей на стане 370/150 ОАО «Белорусский металлургический завод – УКХ «Белорусская металлургическая компания» // Черная металлургия. 2019. Т. 75. № 8. С. 962–970. <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2019-8-962-970>
8. **Бернштейн, М.Л.** Термомеханическая обработка стали / М.Л. Бернштейн, В.А. Займовский, Л.М. Капуткина. М.: Металлургия, 1983. 480 с.
9. **Бернштейн, М.Л.** Структура деформированных металлов / М.Л. Бернштейн. М.: Металлургия, 1977. 431 с.
10. **Бернштейн, М.Л.** Диаграммы горячей деформации, структура и свойства сталей / М.Л. Бернштейн, С.В. Добаткин, Л.М. Капуткина, С.Д. Прокошкин. М.: Металлургия, 1989. 544 с.
11. Рекристаллизация металлов и сплавов / С.С. Горелик, С.В. Добаткин, Л.М. Капуткина. М.: Металлургия, 2005. 432 с.
12. Измельчение зерна при рекристаллизации деформированного аустенита и свойства стали / С.З. Некрасова, А.М. Сергиенко, Я.И. Спектор и др. // Физика металлов и металловедение. 1976. Т. 41. Вып. 6. С. 1213–1218.

### REFERENCES

1. **Spektor A.G., Zeltbert B.M., Kiseleva S.A.** *Struktura i svojstva podshpnikovoyh stalej* [Structure and properties of bearing steels]. Moscow, Metallurgija Publ., 1980. 264 p.
2. **Steblov A.B.** Vlijanie faktorov nagreva na formirovanie karbidnoj setki v stali ShKh15SG [Influence of heating factors on the formation of a carbide mesh in steel ShKh15SG]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2015, no. 2(34), pp. 77–80.
3. **Steblov A.B., Timoshpol'skij V.I., Lenartovich D.V.** Optimizacija nagreva zagotovok iz stali ShH15SG pered prokatkoj [Optimization of heating of billets from steel ШХ15СГ before rolling]. *Stal' = Steel*, 2005, no. 5, pp. 58–61.
4. **Jashhericyн P.I., Timoshpol'skij V.I., Lenartovich D.V., Steblov A.B.** Snizhenie karbidnoj setki v stali ShH15SG [Reduction of carbide mesh in steel ШХ15СГ]. *Doklady Nacional'noj akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2004, vol. 48, no.3, pp. 117–121.
5. **Astapenko I.V., Vasil'kov D.M.** Osobennosti gorjachej prokatki vysokih polos v jashhichnom kalibre [Features of hot rolling of high strips in a box gauge]. *Sovremennye problemy mashinovedenija: materialy XII Mezhduнародной nauchno-tehnicheskoy konferencii, Gomel', 22–23 nojab. 2018 g. Modern problems of mechanical engineering: materials of the XII International scientific and technical conference, Gomel, 22–23 november, 2018*. Gomel', GGTU im. P.O. Suhogo Publ., 2018, pp. 114–117.
6. **Strel'chenko A.V., Zuev I.A., Astapenko I.V.** Issledovanie vlijaniya geometrii jashhichnyh kalibrov valkov na obrazovanie termociklicheskih treshhin v uslovijah melkosortno-provolochnoho stana gorjachej prokatki 370/150 ОАО «Belorusskij metallurgicheskij zavod – upravljajushhaja kompanija holdinga «BМК» [Investigation of the influence of the geometry of the box grooves of the rolls on the formation of thermocyclic cracks in the conditions of the 370/150 small-section hot-rolling mill of OJSC «BSW – Management Company of the Holding «BMC»]. <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2019-1-80-85>
7. **Strel'chenko A.V., Astapenko I.V.** Issledovanie teplovogo sostojaniya valkov pri gorjachej prokatke sortovyh profilej na stane 370/150 ОАО «Belorusskij metallurgicheskij zavod – UKH «Belorusskaja metallurgicheskaja kompanija» [Investigation of the thermal state of rolls during hot rolling of section sections on mill 370/150 of OJSC «BBSW – Management Company of the Holding «BMC»]. <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2019-8-962-970>
8. **Bernshhtejn M.L., Zajmovskij V.A., Kaputkina L.M.** *Termomechanicheskaja obrabotka stali* [Thermomechanical treatment of steel], Moscow, Metallurgija Publ., 1983, 480 p.
9. **Bernshhtejn M.L.** *Struktura deformirovannyh metallov* [The structure of deformed metals]. Moscow, Metallurgija Publ., 1977, 431 p.
10. **Bernshhtejn M.L., Dobatkin S.V., Kaputkina L.M., Prokoshkin S.D.** *Diagrammy gorjachej deformacii, struktura i svojstva stalej* [Hot deformation diagrams, structure and properties of steels]. Moscow, Metallurgija Publ., 1989, 544 p.
11. **Gorelik S.S., Dobatkin S.V., Kaputkina L.M.** *Rekrystallizacija metallov i splavov* [Recrystallization of metals and alloys]. Moscow, Metallurgija Publ., 2005, 432 p.
12. **Nekrasova S.Z., Sergienko A.M., Spektor Ja.I.** Izmel'chenie zerna pri rekrystallizacii deformirovannogo austenita i svojstva stali [Grain refinement during recrystallization of deformed austenite and properties of steel]. *Fizika metallov i metallovedenie = Physics of metals and metal science*, 1976, vol. 41, vyp. 6, pp. 1213–1218.



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-74-77>  
УДК 621.745.35

Поступила 22.07.2021  
Received 22.07.2021

## ТЕРМОДИНАМИКА ТВЕРДОГО И ЖИДКОГО АЛЮМИНИЯ

Е. И. МАРУКОВИЧ, В. Ю. СТЕЦЕНКО, *Институт технологии металлов НАН Беларуси, г. Могилев, Беларусь, ул. Бялыницкого-Бирули, 11. E-mail: stetsenko.52@bk.ru*

А. В. СТЕЦЕНКО, *МОУВО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев, Беларусь, пр. Мира, 43*

*На основе термодинамических расчетов показано, что в интервале температур 298–1273 К нагрев и охлаждение алюминия являются термодинамически равновесными процессами. При нагреве алюминия происходит уменьшение молярной объемной энергии Гиббса и увеличение молярной граничной энергии нанокристаллов. При охлаждении алюминия происходит увеличение молярной объемной энергии Гиббса и уменьшение молярной граничной энергии нанокристаллов. Жидкий алюминий является наноструктурной системой. Дендритные микрокристаллы формируются из нанокристаллов. Они играют большую роль в процессах изменения структуры алюминия при его нагреве и охлаждении.*

**Ключевые слова.** Алюминий, нанокристаллы, кристаллизация, термодинамика, энергия Гиббса, граничная энергия, энтальпия, энтропия.

**Для цитирования.** Марукович, Е. И. Термодинамика твердого и жидкого алюминия / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко, А. В. Стеценко // *Литье и металлургия*. 2021. № 3. С. 74–77. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-74-77>.

## THERMODYNAMICS OF SOLID AND LIQUID ALUMINIUM

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: stetsenko.52@bk.ru*

A. V. STETSENKO, *Belarusian-Russian University, Mogilev, Belarus, 43, Mira ave.*

*Based on thermodynamic calculations, it is shown that in the temperature range of 298–1273 K, heating and cooling of aluminum are thermodynamically equilibrium processes. When aluminum is heated, the molar volume energy of Gibbs decreases and the molar boundary energy of nanocrystals increases. When aluminum is cooled, the molar volume energy of Gibbs increases and the molar boundary energy of nanocrystals decreases. Liquid aluminum is a nanostructured system. Dendritic microcrystals are formed from nanocrystals. They play a large role in the processes of changing the structure of aluminum during its heating and cooling.*

**Keywords.** Aluminum, nanocrystals, crystallization, thermodynamics, Gibbs energy, boundary energy, enthalpy, entropy.

**For citation.** Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu., Stetsenko A. V. Thermodynamics of solid and liquid aluminium. *Foundry production and metallurgy*, 2021, no. 3, pp. 74–77. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-74-77>.

Алюминий служит основой алюминиевых сплавов, которые являются перспективными конструкционными материалами благодаря их легкости, доступности и относительно невысокой стоимости. Механические свойства алюминиевых сплавов существенно зависят от их микроструктуры. Она, как известно, определяется кристаллизацией при переходе сплавов из жидкого состояния в твердое. Для алюминиевых сплавов этот процесс будет зависеть от состояния твердого и жидкого алюминия.

Твердое состояние металла в зависимости от температуры определяется известным термодинамическим уравнением [1]:

$$G_T^S = H_T^S - TS_T^S, \quad (1)$$

где  $G_T^S$ ,  $H_T^S$ ,  $S_T^S$  – соответственно молярные энергия Гиббса, энтальпия и энтропия твердого металла при нормальном давлении;  $T$  – температура металла.

Значение  $H_T^S$  определяется следующим уравнением [1]:

$$H_T^S = H_{298}^S + \int_{298}^T C_p^S dT, \quad (2)$$

где  $C_p^S$  – молярная теплоемкость твердого металла при температуре от 298 К до температуры плавления  $T_0$ ;  $H_{298}^S$  – молярная энтальпия твердого металла при температуре 298 К.

Значение  $C_p^S$  для многих металлов можно рассчитать по уравнению [2]:

$$C_p^S = aT + b, \quad (3)$$

где  $a$  и  $b$  – константы, не зависящие от температуры.

Из уравнений (2) и (3) с учетом того, что  $H_{298}^S = 0$  получим уравнение для значения  $H_T^S$ :

$$H_T^S = (T - 298) \left[ a + \frac{b}{2} (T + 298) \right]. \quad (4)$$

Значение  $S_T^S$  определяется по уравнению [1]:

$$S_T^S = S_{298}^S + \int_{298}^T \frac{C_p^S}{T} dT, \quad (5)$$

где  $S_{298}^S$  – молярная энтропия твердого металла при температуре 298 К.

Из уравнений (3) и (5) получаем следующее значение  $S_T^S$ :

$$S_T^S = S_{298}^S + a(\ln T - \ln 298) + b(T - 298). \quad (6)$$

Если численное значение энтропии  $S_T^S$  при заданной температуре  $T$  известно, то из уравнений (1) и (4) получаем уравнение для расчета  $G_T^S$ :

$$G_T^S = (T - 298) \left[ a + \frac{b}{2} (T + 298) \right] - TS_T^S. \quad (7)$$

Если численное значение энтропии  $S_T^S$  при заданной температуре  $T$  неизвестно, то из уравнений (1), (4) и (6) получаем уравнение для расчета  $G_T^S$ :

$$G_T^S = (T - 298) \left[ a + \frac{b}{2} (T + 298) \right] - T \left[ S_{298}^S + a(\ln T - \ln 298) + b(T - 298) \right]. \quad (8)$$

Жидкое состояние металла в зависимости от температуры определяется известным термодинамическим уравнением [1]:

$$G_T^L = H_T^L - TS_T^L, \quad (9)$$

где  $G_T^L$ ,  $H_T^L$ ,  $S_T^L$  – соответственно молярные энергия Гиббса, энтальпия и энтропия жидкого металла при нормальном давлении.

Значение  $H_T^L$  рассчитывается по уравнению [1]:

$$H_T^L = H_{T_0}^S + H_L + \int_{T_0}^T C_p^L dT, \quad (10)$$

где  $H_{T_0}^S$  – молярная энтальпия твердого металла при температуре  $T_0$ ;  $H_L$  – молярная энтальпия жидкого металла;  $C_p^L$  – молярная теплоемкость жидкого металла. Значение  $C_p^L$  для многих металлов определяется уравнением [2]:

$$C_p^L = C, \quad (11)$$

где  $C$  – константа, не зависящая от температуры.

Из уравнений (4), (10), (11) получаем следующее уравнение для значения  $H_T^L$ :

$$H_T^L = (T_0 - 298) \left[ a + \frac{b}{2} (T_0 + 298) \right] + H_L + C(T - T_0). \quad (12)$$

Значение  $S_T^L$  определяется уравнением [1]:

$$S_T^L = S_{T_L}^L + \int_{T_L}^T \frac{C_p^L}{T} dT, \quad (13)$$

где  $S_{T_L}^L$  – молярная энтропия жидкого металла при известной температуре  $T_L$ . Тогда из уравнений (13) и (11) получаем значения для  $S_T^L$ :

$$S_T^L = S_{T_L}^L + C(\ln T - \ln T_L). \quad (14)$$

Если численное значение энтропии  $S_T^L$  при заданной температуре  $T$  известно, то из уравнений (9) и (12) получаем уравнение для расчета  $G_T^L$ :

$$G_T^L = (T_0 - 298) \left[ a + \frac{b}{2} (T_0 + 298) \right] + H_L + C(T - T_0) - TS_T^L. \quad (15)$$

Если численное значение энтропии  $S_T^L$  при заданной температуре  $T$  неизвестно, то из уравнений (9), (12), (14) получаем уравнение для расчета  $G_T^L$ :

$$G_T^L = (T_0 - 298) \left[ a + \frac{b}{2} (T_0 + 298) \right] + H_L + C(T - T_0) - T \left[ S_{TL} + C(\ln T - \ln T_L) \right]. \quad (16)$$

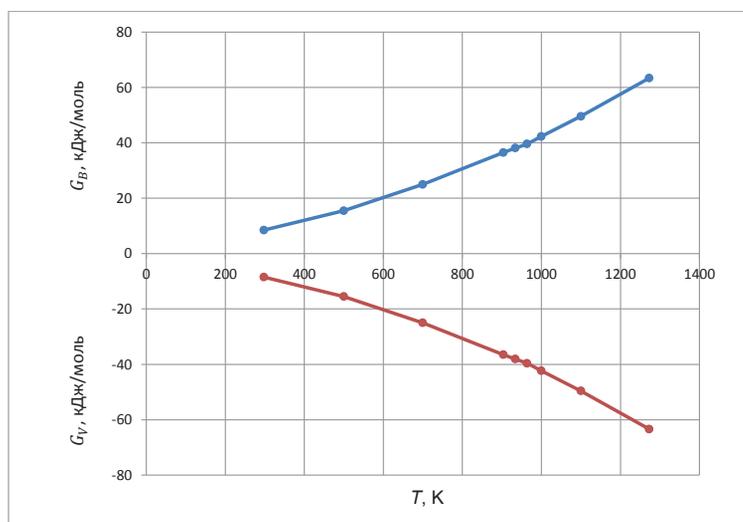
Принимаем для алюминия [2]:  $a = 21,0$  Дж/(моль·град);  $b = 12,6$  Дж/(моль·град<sup>2</sup>);  $C = 29,3$  Дж/(моль·град);  $H_L = 10,8$  кДж/моль;  $T_0 = 934$  К;  $S_{298}^S = 28,5$  Дж/(моль·град);  $S_{500}^S = 41,5$  Дж/(моль·град);  $S_{1000}^L = 73,3$  Дж/(моль·град). Исходя из этих данных, по формулам (4), (6)–(8), (12), (14)–(16) получаем значения термодинамических функций твердого и жидкого алюминия, которые приведены в таблице.

Расчетные значения термодинамических функций твердого и жидкого алюминия

Термодинамические функции	T, К								
	298	500	700	904	934	964	1000	1100	1273
$H_T^S$ , кДж/моль	0	5,2	10,9	17,3	18,3	–	–	–	–
$S_T^S$ , Дж/(моль·град)	28,5	41,5	51,5	59,5	60,3	–	–	–	–
$-G_T^S$ , кДж/моль	8,5	15,5	25,0	36,5	38,1	–	–	–	–
$H_T^L$ , кДж/моль	–	–	–	–	29,1	30,0	31,0	33,9	39,0
$S_T^L$ , Дж/(моль·град)	–	–	–	–	71,9	72,2	73,3	75,8	80,5
$-G_T^L$ , кДж/моль	–	–	–	–	38,1	39,6	42,3	49,6	63,4

Значения  $G_T^S$  и  $G_T^L$ , по сути, являются молярными объемными энергиями Гиббса ( $G_V$ ) твердого и жидкого металла. Из таблицы следует, что при уменьшении температуры величина  $G_V$  увеличивается, т. е.  $\Delta G_V > 0$ . Это означает, что процесс охлаждения алюминия термодинамически невозможен. Но он реален, и только потому, что в процессе охлаждения алюминия происходит убыль молярной граничной энергии  $G_B$ , т. е.  $\Delta G_B < 0$ . На основании термодинамических расчетов установлено, что процессы плавления и кристаллизации металлов происходят в равновесных условиях [3, 4]. Это означает, что при  $T = T_0$   $G_V + G_B = 0$ . Согласно данным таблицы, зависимость  $G_V$  от температуры в интервале 700–1100 К близка к прямолинейной. Поэтому следует считать, что  $G_V = -G_B$ , так как процессы нагрева и охлаждения обратимы. Зависимости  $G_V$  и  $G_B$  твердого и жидкого алюминия от температуры приведены на рисунке.

Из рисунка видно, что при нагреве жидкого алюминия происходит увеличение  $G_B$ , а при его охлаждении – уменьшение  $G_B$ . Этот процесс можно объяснить, приняв, что в расплаве алюминия стабильно существуют нанокристаллы, имеющие граничную энергию. На основании термодинамических расчетов



Молярная объемная энергия Гиббса и молярная граничная энергия твердого и жидкого алюминия в зависимости от температуры

установлено, что жидкие металлы состоят в среднем на 96% из нанокристаллов и на 4% – из атомов [5]. Наличие нанокристаллов фаз в расплаве Al – Si-сплава подтверждено экспериментально методом SANS (метод малоуглового рассеяния нейтронов) [6]. Поэтому жидкий алюминий следует считать наноструктурной системой.

При плавлении микрокристаллы распадаются на нанокристаллы, при кристаллизации происходит обратный процесс. Охлаждение затвердевшего алюминия уменьшает  $G_B$ . Это происходит в основном за счет сокращения поверхностей нанокристаллов, поскольку удельная граничная (поверхностная) энергия слабо зависит от температуры, а жидкий алюминий очень хорошо смачивает твердый алюминий [7]. При охлаждении твердого алюминия его сжатие осуществляется не только за счет уменьшения периода кристаллической решетки, но и по причине уплотнения металла вследствие сокращения поверхностей нанокристаллов. В результате уменьшаются дефекты упаковки нанокристаллов, что приводит к увеличению прочности металла.

Алюминий имеет гранцентрированную кубическую решетку. При его охлаждении с 873 до 473 К период кристаллической решетки уменьшается с 0,41170 до 0,40668 нм, т. е. на величину 0,005 нм [8]. За счет этого относительное сжатие алюминия составляет 1,2%. При охлаждении алюминия с 900 до 500 К температурный коэффициент линейного расширения снижается с  $37,6 \cdot 10^{-6}$  до  $26,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , т. е. на величину  $1,08 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  [8]. При этом относительное сжатие алюминия составляет 2,9%. Тогда относительное уменьшение размеров заготовки за счет сокращения поверхностей нанокристаллов равно 1,7%. Следовательно, вклад нанокристаллов в процесс охлаждения алюминия выше, чем атомов кристаллической решетки. Такой же вывод можно сделать для нагрева алюминия, поскольку эти процессы обратимы.

Таким образом, следует считать, что в интервале температур 298–1273 К нагрев и охлаждение алюминия являются термодинамически равновесными процессами, в которых большую роль играют нанокристаллы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кубашевский О., Олкокк К. Б. *Металлургическая термохимия*. М.: Metallurgiya, 1982. 392 с.
2. Свойства элементов. Ч. 1. Физические свойства: Справ. / Под ред. Г. В. Самсонова. М.: Metallurgiya, 1976. 660 с.
3. Марукович Е. И., Стеценко В. Ю. Термодинамические основы плавления металлов // *Литье и металлургия*. 2020. № 1. С. 14–17.
4. Марукович Е. И., Стеценко В. Ю. Термодинамические основы кристаллизации металлов // *Литье и металлургия*. 2020. № 2. С. 8–11.
5. Марукович Е. И., Стеценко В. Ю. Структура металлического расплава // *Литье и металлургия*. 2020. № 1. С. 18–20.
6. Calvo-Dahlborg M., Popel P. S., Kramer M. J. et al. Superheat-dependent microstructure of molten Al – Si alloys of different compositions studied by small angle neutron scattering // *Journal of Alloys and Compound*. 2013, vol. 550, pp. 9–22.
7. Алюминий: свойства и физическое металловедение: Справ. / Под ред. Д. Е. Хэтча. М.: Metallurgiya, 1989. 422 с.
8. Свойства элементов: Справ. / Под ред. М. Е. Дрица. М.: Metallurgiya, 1985. 672 с.

#### REFERENCES

1. Kubashevskij O., Olkock K. B. *Metallurgicheskaya termohimiya* [Metallurgical thermochemistry]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1982. 392 p.
2. *Svoystva elementov. CH. 1 Fizicheskie svoystva: Spravochnik* [Item Properties. Part 1. Physical Properties: Reference]. Pod red. G. V. Samsonova. Moscow, Metallurgiya Publ., 1976. 660 p.
3. Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu. Termodinamicheskie osnovy plavleniya metallov [Thermodynamic bases of metals melting]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2020, no. 1, pp. 14–17.
4. Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu. Termodinamicheskie osnovy kristallizacii metallov [Thermodynamic foundations of metal crystallization]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2020, no 2, pp. 8–11.
5. Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu. Struktura metallicheskogo raspplava [Metal melt structure]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2020, no. 1, pp. 18–20.
6. Calvo-Dahlborg M., Popel P. S., Kramer M. J. et al. Superheat-dependent microstructure of molten Al – Si alloys of different compositions studied by small angle neutron scattering. *Journal of Alloys and Compound*, 2013, vol. 550, pp. 9–22.
7. *Alyuminij: svoystva i fizicheskoe metallovedenie: Spravochnik* [Aluminium: properties and physical metal science: Reference]. Pod red. D. E. Hetcha. Moscow, Metallurgiya Publ., 1989, 422 p.
8. *Svoystva elementov: Spravochnik* [Item Properties: Reference]. Pod red. M. E. Drica. Moscow, Metallurgiya Publ., 1985. 672 p.



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-78-81>  
УДК 621.74

Поступила 16.06.2021  
Received 16.06.2021

## СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ХУДОЖЕСТВЕННОГО ЛИТЬЯ

С. С. ТКАЧЕНКО, В. О. ЕМЕЛЬЯНОВ, К. В. МАРТЫНОВ, Филиал РАХ «Творческая Мастерская  
«Литейный Двор», г. Санкт-Петербург, Россия, Расстанный проезд, 1. E-mail: martunov@inbox.ru

В публикации освещено производство художественных отливок методом литья по выплавляемым моделям с применением комбинированных керамических форм. Рассмотрены особенности нанесения огнеупорного покрытия, дуплексного отверждения керамических оболочек, прорезка форм, удаление модельного состава, прокалка керамических форм, заливка и отделение литниково-питающей системы в условиях серийного производства. В качестве связующего используют гидролизованый этилсиликат (ЭТС) и водный щелочной кремнезоль. Гидролиз проводят с кислым катализатором. Прочность форм на водном связующем до прокалики (прочность на изгиб  $\sigma$ ) от 1,5 до 2,0 МПа. Представленная технология позволяет гибко охватывать всю номенклатуру художественных изделий. В одной партии могут быть изготовлены отливки массой от 5 до 10 кг, что значительно сокращает производственный цикл.

**Ключевые слова.** Художественное литье, литье по выплавляемым моделям (ЛВМ), этилсиликат, керамическая форма, прочность.

**Для цитирования.** Ткаченко, С. С. Современные материалы и технологии в производстве художественного литья / С. С. Ткаченко, В. О. Емельянов, К. В. Мартынов // Литье и металлургия. 2021. № 3. С. 78–81. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-78-81>.

## MODERN MATERIALS AND TECHNOLOGIES IN THE PRODUCTION OF ARTIFICIAL CASTING

S. S. TKACHENKO, V. O. YEMELYANOV, K. V. MARTYNOV, Branch of the RAH Creative Workshop "Liteyny Dvor", St. Petersburg, Russia, 1, Rasstanny proezd. E-mail: martunov@inbox.ru

The publication highlights the production of artistic castings by investment casting using combined ceramic molds. The features of the application of a refractory coating, duplex curing of ceramic shells, cutting of molds, removal of the model composition, annealing of ceramic molds, pouring and separation of the gating-feeding system under conditions of mass production are considered. Hydrolyzed ethyl silicate (ETS) and aqueous alkaline silica sol are used as a binder. The hydrolysis is carried out with an acidic catalyst. The strength of forms on an aqueous binder before calcination (bending strength  $\sigma$ ) is from 1.5 to 2 MPa. The presented technology allows flexible coverage of the entire range of art products. Castings weighing from 5 to 10 kg can be produced in one batch, which significantly reduces the production cycle.

**Keywords.** Artistic casting, investment casting (LVM), ethyl silicate, ceramic mold, strength.

**For citation.** Tkachenko S. S., Yemelyanov V. O., Martynov K. V. Modern materials and technologies in the production of artificial casting. Foundry production and metallurgy, 2021, no. 3, pp. 78–81. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-78-81>.

Серийное производство высокохудожественных изделий – это в первую очередь сокращение издержек. Минимизация трудозатрат и сокращение расходов на материалы – это единственный путь выдержать конкуренцию с дешевой продукцией из стран Юго-Восточной Азии.

Керамическую оболочку формируют по дуплекс-процессу. В качестве связующего используют гидролизованый этилсиликат (ЭТС) и водный щелочной кремнезоль. Гидролиз проводят с кислым катализатором. Водное связующее на основе кремнезоля должно иметь в составе, помимо ПАВ и пеногасителя, добавки, повышающие тиксотропные свойства и седиментационную устойчивость суспензии. Первый слой выполняют суспензией на основе гидролизованного ЭТС с маршаллитом. Покрытию подлежит только художественный рельеф (рис. 1). Предпочтительно выполнять операцию методом облива. Обсыпку проводят формовочным песком с размером зерен 0,2–0,3 мм.

Форму подсушивают в течение 3–5 мин до образования пластичной массы на поверхности модели. Полного затвердевания не допускают. На подсушенную форму наносят суспензию на основе водного

связующего и маршаллита. Прочность форм на водном связующем до прокалки (прочность на изгиб  $\sigma$ ) от 1,5 до 2,0 МПа. Операция выполняется окунанием (рис. 2).

Обсыпку рационально наносить вручную, используя совок (рис. 3). В этом случае формируется равномерная толщина покрытия, особенно на острых краях [1].

Обсыпают формовочным песком с зернистостью 0,2–0,3 мм. Сушку ведут интенсивно турбулентным потоком воздуха. Важно организовать потоки в трех плоскостях. Температура сушильного агента 25–28 °С. Время сушки 2–6 ч в зависимости от влажности воздуха и сложности форм. Начиная с 3–4-го слоя зернистость обсыпки увеличивают до 0,63–1,5 мм. Для художественного литья предпочтительно формировать 4–5 слоев. Последний слой закупорочный, без обсыпки зернистым материалом (рис. 4).



Рис. 1. Нанесение огнеупорного покрытия на основе ЭТС



Рис. 2. Нанесение огнеупорного покрытия методом окунания



Рис. 3. Нанесение зернистого материала формы методом ручной обсыпки



Рис. 4. Последний «закупорочный» слой керамической формы

Если форма содержит мелкие отливки, смонтированные в виде пакета, желательно обеспечивать сращивание отдельных элементов в единый блок методом направленного нанесения суспензии и обсыпки.

Подготовка к удалению модельного состава состоит в прорезке керамики по периметру верхней части воронки на глубину 8–10 мм до модельного состава. Подрезку ведут абразивным диском (рис. 5).

Подготовленные формы устанавливают в корзину (рис. 6) в количестве 6–8 штук. Для обеспечения плавного перемещения силами одного оператора масса корзины не должна превышать 15 кг. Дно корзины выполнено из перфорированного стального листа. Диаметр отверстий 4–8 мм.



Рис. 5. Прорезка формы перед удалением модельного состава



Рис. 6. Формы, помещенные в корзину для вытопки модельного состава

Вытопка производится погружением корзины в кипящую воду (рис. 7). Объем ванны – минимум  $0,25 \text{ м}^3$ . Время выдержки корзины в воде – 20 мин. Нагреватели ванны должны обеспечивать спокойное кипение теплоносителя весь период операции. Через 10 мин с момента погружения корзины в воду необходимо удалить трубки из стояков. В противном случае модельный состав из трубок остается в форме, что приводит к сажевому засору.



Рис. 7. Операция удаления модельного состава из формы:

*а* – помещение корзины в ванну с кипящей водой; *б* – ванна для вытопки модельного состава перед удалением трубок

После подъема корзины из ванны формы остужают в течение 1–2 мин и сливают из них воду с остатками модельного состава. Если формы остудить до температуры ниже  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ , то модельный состав, попавший в воронку с поверхности теплоносителя, не будет удален из формы. Прокалка форм не предусматривает полного выжигания модельного состава. Остатки модельной массы объемом  $2\text{--}5 \text{ см}^3$  могут привести к сажевому засору.

Ремонт поврежденных форм проводится высокопрочным гипсом или огнеупорной глиной в смеси с формовочным песком в соотношении 1:1. Полые стержни в керамической оболочке не имеют достаточной манипуляторной прочности для процесса заливки. Необходимо засыпать полости опорным наполнителем. Если это исключено, то полость стержня заполняют формовочной смесью на основе жидкого стекла.

Прокалка форм производится в опорном наполнителе. В качестве наполнителя желателен использовать формовочный песок фракции  $0,125\text{--}0,63 \text{ мм}$  для обеспечения плотного контакта с формой и предотвращения ухода металла в прокалочный контейнер. Контейнеры стальные, сварные с толщиной стенки  $10\text{--}12 \text{ мм}$ . Возможно применение углеродистой стали Ст3, Ст5.

Температура прокалки –  $750 \text{ }^\circ\text{C}$ . Подъем до заданной температуры плавный в течение 4–6 ч. Выдержка при температуре прокалки – 2 ч. Температура форм под заливку –  $500\text{--}750 \text{ }^\circ\text{C}$  [2].

Для серийных художественных отливок наиболее распространенный сплав – латунь ЛС 59-1. Высокое содержание цинка в сплаве приводит к его кипению при температуре формы выше  $750 \text{ }^\circ\text{C}$ . Это явление можно предотвратить повышением содержания меди в сплаве. Для этого в начале плавки сплавляют скрап латуни, например Л63. Объем присадки –  $10\text{--}20 \%$ . Перед выпуском сплав в печи раскисляют электротехническим алюминием в количестве  $0,1\text{--}0,5 \%$  от массы металла.

Заливка форм проводится 10-марковым графито-шамотовым тиглем (рис. 8).

Выдержка залитых форм – 2 ч. Выбивка отливок из контейнера – опрокидыванием последнего. Удаление отливок методом вертикального вытаскивания приводит к деформации заготовок.

Разрушение керамики проводится методом динамического воздействия на стояк. Удар молотка массой  $0,4 \text{ кг}$  обеспечивает эффективную выбивку.

Отделение литниково-питающей системы производится абразивным диском. Скорость вращения шпинделя – 3000 об/мин. Диаметр абразивного диска – 230 мм. Отливку безопасно удерживать в кожаных рукавицах (вачегах) (рис. 9). Ручная обрезка – самый производительный способ отделения заготовок от сложной литниковой системы.

Представленная технология позволяет гибко охватывать всю номенклатуру художественных изделий. В одной партии могут быть изготовлены отливки массой от 5 г до 10 кг, что значительно сокращает производственный цикл. Время – самый дорогой ресурс в бизнесе. Успеть изготовить качественные заготовки быстрее конкурентов – залог процветания литейного предприятия.



Рис. 8. Заливка форм



Рис. 9. Отделение литниково-питающей системы абразивным диском

### ЛИТЕРАТУРА

1. Урвачев В. П., Кочетков В. В., Горина Н. Б. Ювелирное и художественное литье по выплавляемым моделям сплавов меди. Челябинск: Metallurgija, 1991.
2. Шкленник Я. И. Литье по выплавляемым моделям. М.: Машиностроение, 1984.

### REFERENCES

1. Urvachev V. P., Kochetkov V. V., Gorina N. B. *Juvelirnoe i hudozhestvennoe lit'e po vyplavljaemym modeljam splavov medi* [Jewelry and art investment casting of copper alloys]. Cheljabinsk, Metallurgija Publ., 1991.
2. Shklennik Ja. I. *Lit'e po vyplavljaemym modeljam* [Lost wax casting]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1984.

*Поздравляем!*

*Владимира Юзефовича СТЕЦЕНКО*

*с присуждением ученой степени  
доктора технических наук!*

*Желаем дальнейших творческих  
успехов, здоровья, благополучия!*



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-82-87>  
УДК 621.742.52, 621.742.59

Поступила 30.07.2021  
Received 30.07.2021

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВАКУУМА НА ОТВЕРЖДЕНИЕ СМЕСЕЙ НА СИЛИКАТНОМ СВЯЗУЮЩЕМ

О. А. РУСЕВИЧ, С. Л. РОВИН, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: rusevich@bntu.by

*В статье представлены результаты исследований влияния вакуумирования на процессы отверждения жидкостекольных смесей. Описаны методика проведения экспериментов с применением оригинальной лабораторной вакуумной установки и механизмы отверждения жидкостекольной смеси при различных методах упрочнения. Исследования показали, что вакуумирование позволяет значительно ускорить отверждение и увеличить прочность смеси при одновременном снижении содержания силикатного связующего. Это, в свою очередь, облегчает выбиваемость жидкостекольных смесей и расширяет перспективы использования этих экологически чистых смесей в литейном производстве как альтернативы смесям на органических связующих.*

**Ключевые слова.** Жидкостекольное связующее, вакуум, отверждение, прочность, выбиваемость, формовочные и стержневые смеси.

**Для цитирования.** Русевич, О. А. Исследование влияния вакуума на отверждение смесей на силикатном связующем / О. А. Русевич, С. Л. Ровин // *Литье и металлургия*. 2021. № 3. С. 82–87. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-82-87>.

## INVESTIGATION OF THE EFFECT OF VACUUM ON THE CURING OF MIXTURES ON A SILICATE BINDER

O. A. RUSEVICH, S. L. ROVIN, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosty Ave. E-mail: rusevich@bntu.by

*The article presents the results of a study of the effect of vacuuming on the curing processes of liquid-glass mixtures. The method of conducting experiments using an original laboratory vacuum installation and the mechanisms of curing a liquid-glass mixture with various hardening methods are described. Studies have shown that vacuuming can significantly accelerate the curing and increase the strength of the mixture while reducing the content of the silicate binder. This, in turn, facilitates the knockability of liquid-glass mixtures and expands the prospects for using these environmental friendly mixtures in foundry as an alternative to sands based on organic binders.*

**Keywords.** Liquid-glass binder, vacuum, curing, strength, knockability, molding and core sand.

**For citation.** Rusevich O. A., Rovin S. L. Investigation of the effect of vacuum on the curing of mixtures on a silicate binder. *Foundry production and metallurgy*, 2021, no. 3, pp. 82–87. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-82-87>.

### Введение

Одним из главных направлений развития литейного производства является создание экологически чистых технологий с применением доступных и недорогих материалов, с минимальным образованием отходов и пылегазовых выбросов. При оценке с этой точки зрения процессов изготовления отливок с использованием разовых форм и стержней важнейшую роль играет выбор связующих композиций.

В то же время, сегодня, в Республике Беларусь, как и во всем мире, для изготовления стержней, а в мелкосерийном производстве – и форм, преимущественно используются смеси на органических смоляных связующих. Их применение сопровождается значительными выделениями токсичных газов (аммиак, ацетон, акролеин, фенол, формальдегиды, фурфурол и др.) как в процессах приготовления смеси и отверждения стержней и форм, так и при заливке формы расплавом, кристаллизации и охлаждении отливки [1].

Использование экологически чистых смесей на силикатном связующем, несмотря на доступность и невысокие цены жидкого стекла, значительно уступает песчано-смоляным смесям из-за ряда

технологических недостатков, важнейшими из которых являются хрупкость, осыпаемость, большая чем у песчано-смоляных смесей усадка и, главное, высокая остаточная прочность, затрудняющая выбивку и регенерацию смеси [2].

Существует множество различных способов влияния на свойства жидкостекольных смесей. К таким способам относятся модифицирование жидкостекольного связующего, введение различных добавок в смесь, физические и физико-химические методы воздействия на жидкое стекло в процессе его получения и на смесь в процессе ее приготовления и отверждения.

Все эти способы по основному направлению воздействия на смесь условно можно разделить на три группы: способы, направленные на увеличение прочности единичного контакта между частицами смеси, позволяющие таким образом уменьшить количество связующего; способы, приводящие к разупрочнению или разрушению связей между частицами смеси при ее высокотемпературном нагреве (после заливки расплавом); способы, изменяющие высокотемпературные свойства жидкого стекла, исключаящие или значительно снижающие спекание частиц при высоких температурах. При всем многообразии наиболее эффективным методом улучшения выбиваемости является снижение содержания жидкого стекла [2, 3].

Существенное влияние на объемную и поверхностную прочность жидкостекольных смесей, а также на их остаточную прочность и соответственно выбиваемость оказывают способы отверждения силикатного связующего. В литейном производстве, как правило, используются четыре основных метода отверждения жидкостекольных смесей: тепловой сушкой (нагревом при 220–250 °С или продувкой теплым воздухом), продувкой углекислым газом (СО<sub>2</sub>-процесс), порошкообразными (чаще всего используются материалы на основе двухкальциевых силикатов – феррохромовый шлак, портландцементы и др.) и жидкими отвердителями (сложные эфиры, например, ацетатэтиленгликоль). Известно также, что жидкостекольные смеси способны отверждаться и на воздухе – процесс провяливания. При этом есть предположение, что этот процесс связан не только с естественной сушкой (обезвоживанием) смеси, но и с содержанием в воздухе углекислого газа. Однако отверждение жидкостекольных форм и стержней на воздухе очень длительный процесс, занимает 8–12 ч и более, и на практике практически не используется. В зависимости от способа отверждения и используемых отвердителей в результате протекающих коагуляционно-химических процессов образуются гель кремниевой кислоты и различные гидросиликаты (чаще всего натрия и кальция), которые и определяют прочностные характеристики жидкостекольных форм и стержней [2, 3].

Все процессы отверждения, независимо от способа и применяемых отвердителей, сопровождаются обезвоживанием жидкого стекла при гелеобразовании. В то же время одним из известных способов интенсификации процессов сушки, обезвоживания, сублимации различных дисперсных, пористых, волокнистых и коллоидных материалов является вакуумирование. Обработка материалов при пониженном давлении активно используется в химической и текстильной промышленности, в фармацевтике, деревообработке и индустрии строительных материалов [4].

Учитывая это, представляется весьма перспективным изучение и применение вакуума в процессах отверждения литейных формовочных и стержневых смесей на силикатных связующих. При этом создание пониженного давления в объеме смеси должно не только ускорить процессы испарения влаги, но также интенсифицировать процессы массопереноса и удаления газообразных продуктов реакций, сопровождающих отверждение.

### Описание методики и экспериментальной установки

Для изучения влияния вакуума на процессы отверждения жидкостекольных смесей была разработана методика исследований и изготовлена специальная лабораторная установка (рис. 1).

Установка работает следующим образом: в цилиндрическую вакуумную камеру 1 помещается оснастка 3 со стандартными цилиндрическими образцами или «восьмерками» из жидкостекольной смеси. Сверху камера герметично закрывается крышкой 2 со штуцером 7, на который в зависимости от задачи может устанавливаться заглушка или шланг для подключения к баллону с углекислым газом. В днище вакуумной камеры устанавливается штуцер 8, на который надевается шланг от вакуумного насоса. Для создания разрежения используется форвакуумный насос. Между вакуумной камерой и вакуумным насосом устанавливается углеродная ловушка для улавливания влаги и предотвращения ее попадания в масло. На крышке установлены манометр 5 и вакуумметр 6, позволяющие контролировать давление и разрежение в камере. На выходе из баллона с углекислым газом устанавливают редуктор 9 и манометр 4, которые позволяют регулировать и контролировать давление и скорость подачи СО<sub>2</sub> [5].

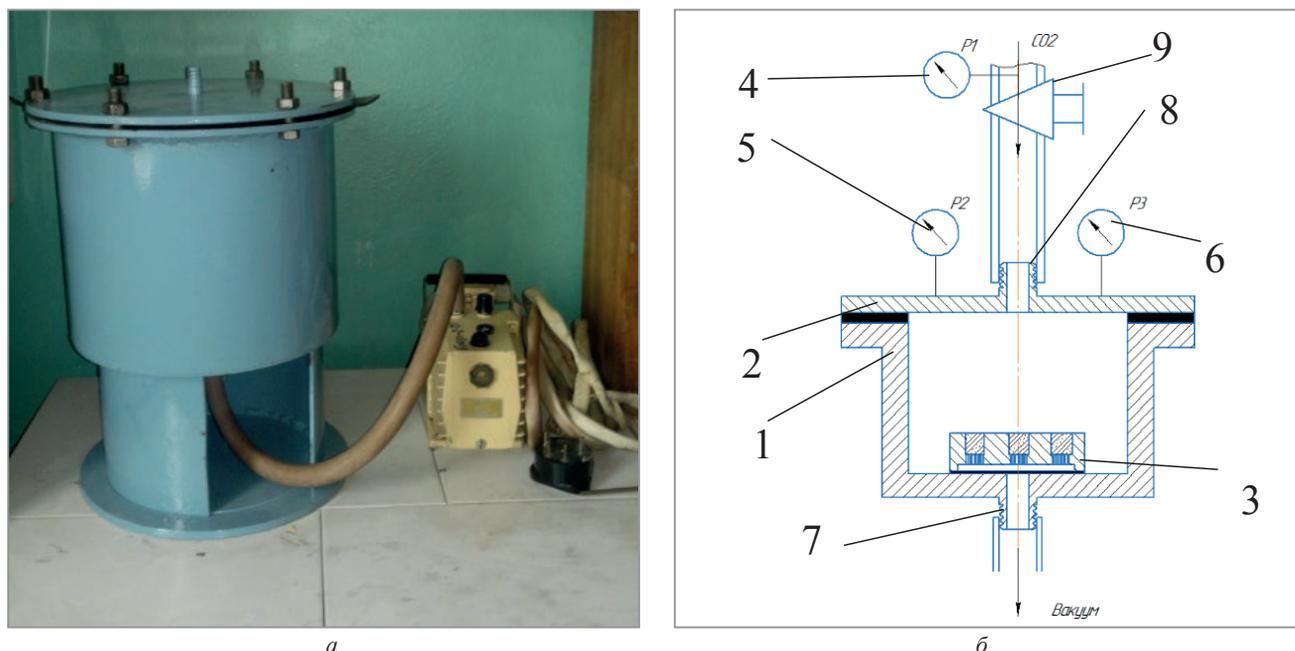


Рис. 1. Лабораторная установка для исследования влияния вакуума на свойства жидкостекольных смесей:  
а – внешний вид; б – схема установки

При проведении экспериментальных исследований были поставлены и решены следующие задачи:

- исследовать влияние вакуумирования на процесс отверждения жидкостекольной смеси углекислым газом;
- исследовать процесс отверждения жидкостекольной смеси в вакууме;
- исследовать процесс отверждения жидкостекольной смеси при продувке воздухом;
- сравнить процессы отверждения жидкостекольных смесей в вакууме с традиционными способами отверждения: на воздухе, тепловой сушкой и продувкой углекислым газом.

Отвержденные в соответствии с указанными методами стандартные образцы сравнивали по показателям прочности на сжатие (цилиндрические образцы) и растяжение (восьмерки) по ГОСТ 23409.7–78, а также на выбиваемость по методике, предложенной А. М. Ляссом [6].

Режимы отверждения и их основные параметры приведены в табл. 1.

Таблица 1. Основные параметры исследованных режимов отверждения

Номер эксперимента	Последовательность действий
1	Вакуумная камера с исследуемыми образцами заполняется углекислым газом под избыточным давлением 0,3 МПа, после чего включается вакуумный насос и просасывает CO <sub>2</sub> через образцы
2	Образцы помещаются в камеру и выдерживаются при постоянной работе вакуумного насоса под разряжением 10 Па в течение 20, 30 и 40 мин
3	CO <sub>2</sub> -процесс: образцы продуваются углекислым газом в течение 7 с под давлением 0,3 МПа
4	Через образцы, помещенные в камеру, вакуумнасосом в течение 30 и 50 мин просасывается воздух
5	Провяливание образцов на воздухе в течение 8, 12, 24 ч
6	Отверждение нагревом при температуре 220 °С в течение 60 мин

В качестве базового состава на всех режимах отверждения использовали смесь, содержащую 5% жидкого стекла с модулем 3,0 и плотностью 1,45 кг/м<sup>3</sup>. При исследовании процесса отверждения смеси под вакуумом (режим № 2) и сравнении его с традиционным CO<sub>2</sub>-процессом использовали смеси с содержанием жидкого стекла от 3 до 6% (табл. 2).

Приготовление жидкостекольной смеси осуществляли в вертикальном лопастном смесителе. Масса замеса – 0,5 кг. Время перемешивания – 1 мин.

Таблица 2. Составы смеси

Номер состава	Содержание, мас. %	
	наполнитель (кварцевый песок)	связующее (жидкое стекло) сверх 100%
1	100	6
2	100	5
3	100	4
4	100	3

### Результаты экспериментальных исследований

Результаты испытаний, проведенных в соответствии с указанными выше режимами (см. табл. 1), представлены в табл. 3, 4.

Таблица 3. Прочность образцов, отвержденных по  $\text{CO}_2$ -процессу

Номер состава в соответствии с табл. 2	Прочность на растяжение, МПа	Прочность на сжатие, МПа
1	0,243	1,23
2	0,204	1,49
3	0,114	1,06
4	0,057	0,37

Таблица 4. Прочность образцов, отвержденных при вакуумировании

Номер состава в соответствии с табл. 2	Время выдержки, мин	Прочность на растяжение, МПа	Прочность на сжатие, МПа
1	20	0,183	3,84
	30	0,256	4,27
	40	0,301	4,53
2	20	0,128	5,48
	30	0,194	5,74
	40	0,542	6,44
3	20	0,079	3,56
	30	0,221	3,78
	40	0,600	4,13
4	20	0,378	1,45
	30	0,553	1,22
	40	0,551	1,61

Результаты прочностных испытаний образцов, отвержденных в вакууме, приведены на рис. 2, 3.

Сравнение результатов испытаний образцов, отвержденных различными методами, на прочность при растяжении показано в виде гистограмм на рис. 4.

Результаты испытаний показывают, что прочность образцов, отвержденных под вакуумом, почти вдвое превышает прочностные показатели образцов, отвержденных на воздухе и по  $\text{CO}_2$ -процессу. В то же время их прочность значительно уступает образцам, отвержденным тепловой сушкой, однако при этом удельные энергозатраты на отверждение вакуумом в 10–20 раз ниже затрат на тепловую сушку.

Механизм процесса набора прочности образца под вакуумом можно представить следующим образом: при снижении давления в рабочей камере вода, содержащаяся в коллоидном растворе, которым является жидкое стекло, вследствие снижения парциального давления в объеме образца активно выделяется из связующего и испаряется, раствор коагулирует, образуя твердый каркас силиката натрия ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot aq$ ), обеспечивающий требуемую прочность смеси.

Отличие прочности образцов, полученных при различных методах отверждения, объясняется различием образующихся продуктов: когезионная прочность силиката натрия выше прочности геля кремниевой кислоты ( $2\text{Si}(\text{OH})_4 \cdot aq$ ), формирующей прочность жидкостекольной смеси в результате продувки углекислым газом. Снижению прочности смеси, полученной по  $\text{CO}_2$ -процессу, способствует также образование карбонатов и бикарбонатов натрия ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $\text{NaHCO}_3$ ) [7].

Результаты исследования образцов, отвержденных в вакууме, на выбиваемость приведены на рис. 5.

Следует отметить, что, несмотря на большую прочность, образцы из базовой смеси (с 5% жидкого стекла), отвержденные в вакууме, имели лучшую выбиваемость, чем образцы, полученные по  $\text{CO}_2$ -процессу (рис. 6). При снижении содержания жидкого стекла в смеси до 3% и сохранении прочности на уровне образцов, полученных по  $\text{CO}_2$ -процессу, работа выбивки для образцов, отвержденных в вакууме, снизилась в 1,5 раза.

Разница в работе, затрачиваемой на выбивку, возможно объясняется различной скоростью спекания основных компонентов, образующих каркас жидкостекольной смеси при различных методах отверждения (скорость спекания силикагеля выше, чем у силиката натрия).

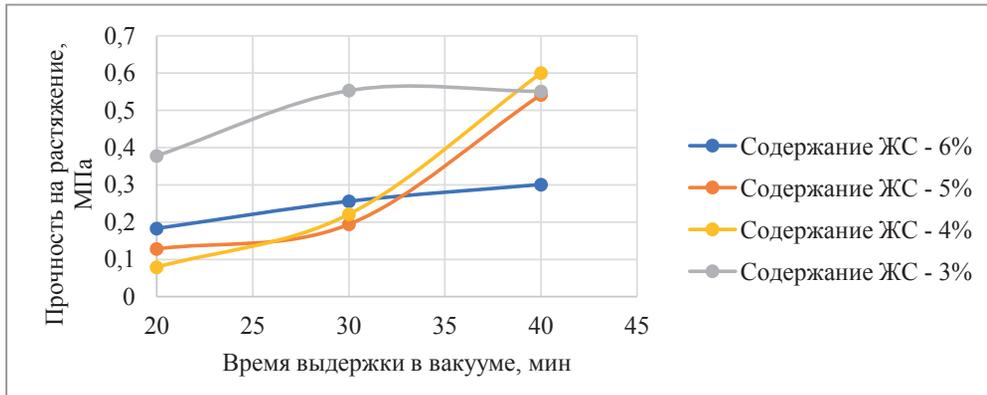


Рис. 2. Прочность на растяжение образцов жидкостекольной смеси при различном времени вакуумирования

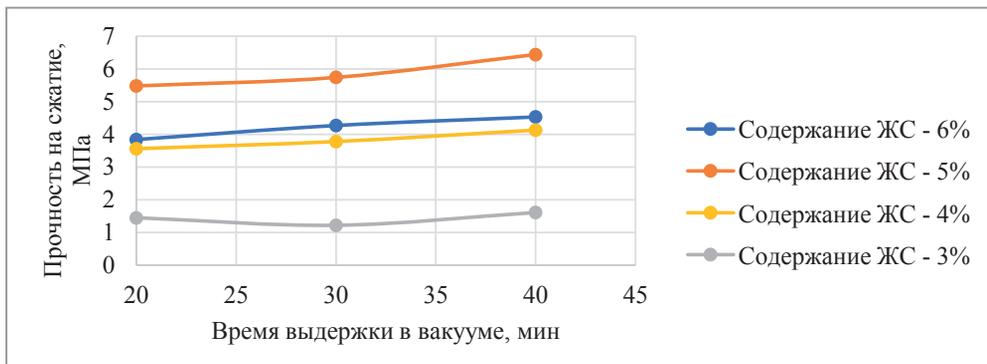


Рис. 3. Прочность на сжатие образцов при различном времени вакуумирования

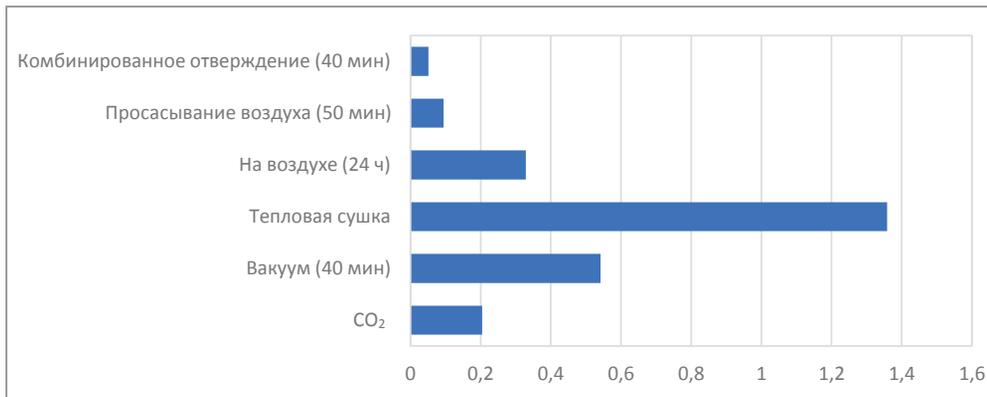


Рис. 4. Диаграммы сравнения прочности жидкостекольной смеси при разных условиях отверждения

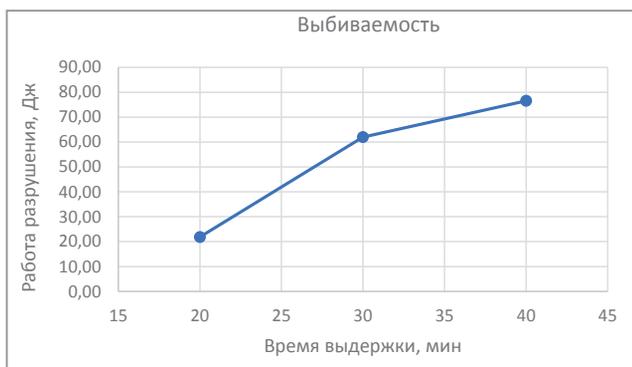


Рис. 5. Работа выбивки при различном времени отверждения образцов в вакууме

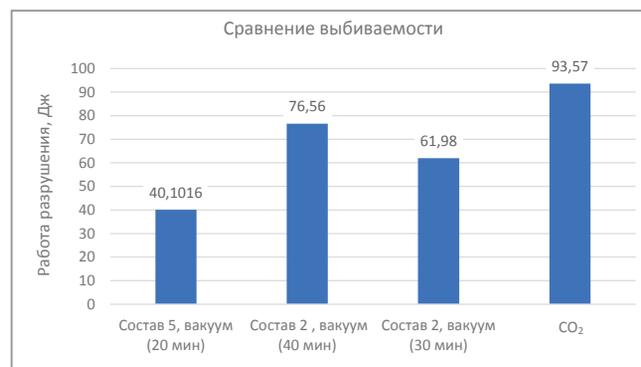


Рис. 6. Сравнение энергии, затраченной на разрушение образца, отвержденного по СО<sub>2</sub>-процессу, и образцов, отвержденных в вакууме при различном времени обработки и содержании жидкого стекла

### Выводы

Применение вакуума позволяет не только резко ускорить процессы отверждения смесей на силикатном связующем (в 30–50 раз относительно процессов естественной сушки), но и обеспечивает достижение более высокой прочности в отвержденном состоянии (в 1,5–2,0 раза).

Отверждение в вакууме можно рассматривать как альтернативу традиционным способам изготовления форм и стержней из жидкостекольных смесей продувкой углекислым газом и методом тепловой сушки: уступая  $\text{CO}_2$ -процессу по интенсивности, вакуумирование обеспечивает более высокую объемную прочность (на сжатие – в 4–6 раз, на разрыв – в 2–3 раза), меньшую осыпаемость и, что самое важное, улучшение выбиваемости смеси; образцы, отвержденные в вакууме, уступают по прочности образцам, полученным тепловой сушкой, но при этом в 2 раза сокращается время отверждения и более чем на порядок снижаются удельные энергозатраты.

Отверждение в вакууме при сохранении требуемого уровня прочности позволяет почти в 2 раза снизить содержание связующего (с 5–6 до 3–3,5%) и соответственно значительно облегчить выбиваемость жидкостекольной смеси (в 1,5 раза по сравнению с выбиваемостью базовой смеси, отвержденной углекислым газом).

Полученные результаты свидетельствуют об эффективности и перспективности применения вакуума в процессах отверждения жидкостекольных смесей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Болдин, А.Н.** Экология литейного производства: учеб. пособие для вузов / А.Н. Болдин [и др.]. Брянск: БГТУ, 2001. 315 с.
2. **Кукуй, Д.М.** Теория и технология литейного производства. Формовочные материалы и смеси / Д.М. Кукуй, Н.В. Андрианов. Минск: БНТУ, 2005. 391 с.
3. **Корнеев, В.И.** Растворимое и жидкое стекло / В.И. Корнеев, В.В. Данилов. Санкт-Петербург: Стройиздат, 1996. 216 с.
4. **Гальперин, Н.И.** Основные процессы и аппараты химической технологии. В 2-х кн. / Н.И. Гальперин. М.: Химия, 1981. 812 с.
5. Перспективы применения вакуумирования для отверждения жидкостекольных смесей / Ю.Ю. Гуминский, С.Л. Ровин, О.А. Русевич // Литейщик России. 2021. № 1. С. 34–37.
6. **Лясс, А.М.** Фазовые превращения в ЖСС с жидким стеклом при высоких температурах и их связь с технологическими свойствами / А.М. Лясс. М.: Машиностроение, 1979. 207 с.
7. **Илларионов, И.Е.** Жидкостекольные смеси, отверждаемые продувкой углекислым газом / И.Е. Илларионов, Н.В. Петрова // Тр. Нижегородского гос. техн. ун-та им. Р.Е. Алексеева. 2011. № 2 (87). С. 208–213.

### REFERENCES

1. **Boldin A.N. et al.** *Jekologija litejnogo proizvodstva*. [Foundry ecology]. Brjansk, BGTU Publ., 2001. 315 p.
2. **Kukuj D.M., Andrianov N.V.** *Teorija i tehnologija litejnogo proizvodstva. Formovochnye materialy i smesi* [Foundry theory and technology. Molding materials and mixtures]. Minsk, BNTU Publ., 2005. 391 p.
3. **Korneev V.I., Danilov V.V.** *Rastvorimoe i zhidkoe steklo* [Soluble and liquid glass]. Sankt-Peterburg, Strojizdat Publ., 1996. 216 p.
4. **Gal'perin N.I.** *Osnovnye processy i apparaty himicheskoj tehnologii. V dvuh knigah* [Basic processes and apparatuses of chemical technology. In two books]. Moscow, Himija Publ., 1981. 812 p.
5. **Guminskij Ju. Ju., Rovin S.L., Rusevich O.A.** Perspektivy primenenija vakuumirovanija dlja otverzhdenija zhidkostekol'nyh smesej [Application possibility of vacuum for hardening of liquid glass mixtures]. *Litejshhik Rossii = Foundryman of Russia*, 2021, no. 1, pp. 34–37.
6. **Ljass, A.M.** *Fazovye prevrashhenija v ZhSS s zhidkim steklom pri vysokih temperaturah i ih svjaz' s tehnologicheskimi svoystvami* [Phase transformations in fluid self-hardening mixtures with liquid glass at high temperatures and their relationship with technological properties]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1979. 207 p.
7. **Illarionov I.E., Petrova N.V.** Zhidkostekol'nye smesi, otverzhdajemye produvkoy uglekislym gazom [Liquid glass mixtures hardened by carbon dioxide purge] *Trudy Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta im. R.E. Alekseeva = Proceedings of the Nizhny Novgorod State University named after R.E. Alekseev*, 2011, no. 2, pp. 208–213.



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-88-90>  
УДК 674.21

Поступила 24.06.2021  
Received 24.06.2021

## ЗАВИСИМОСТЬ ФРАКТАЛЬНОСТИ ГЕЛЯ КРЕМНЕКИСЛОТЫ ОТ СПОСОБА ЭМУЛЬГИРОВАНИЯ ЗОЛЯ

С. С. ТКАЧЕНКО, В. О. ЕМЕЛЬЯНОВ, К. В. МАРТЫНОВ, Филиал РАХ «Творческая Мастерская «Литейный Двор», г. Санкт-Петербург, Россия, Расстанный проезд, 1. E-mail: [splenal@mail.ru](mailto:splenal@mail.ru)

*Приведены экспериментальные данные, подтверждающие влияние поверхностно-активных веществ (ПАВ) и седиментационной устойчивости на конечную структуру геля стабилизированной кремниевой кислотой. Представлены исследования макроструктуры кремнегеля в зависимости от способа эмульгирования золя кремниевой кислоты и влияние получаемой фрактальности на прочность литейной формы.*

*Показано направление модифицирования связующего для литья по выплавляемым моделям (ЛВМ) с получением заданных свойств керамической оболочки.*

*Установлено комплексное действие органических полимеров на систему золь – гель. Сделан вывод о возможности использования водной дисперсии акрила для формирования заданной структуры геля кремнекислоты.*

**Ключевые слова.** Керамические формы, прочность, гель, структура, кремнезоль.

**Для цитирования.** Ткаченко, С. С. Зависимость фрактальности геля кремнекислоты от способа эмульгирования золя / С. С. Ткаченко, В. О. Емельянов, К. В. Мартынов // Литье и металлургия. 2021. № 3. С. 88–90. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-88-90>.

## DEPENDENCE OF THE FRACTALITY OF THE SILICA GEL ON THE METHOD OF SOL EMULSIFICATION

S. S. TKACHENKO, V. O. YEMELYANOV, K. V. MARTYNOV, Branch of the RAH Creative Workshop “Liteyny Dvor”, St. Petersburg, Russia, 1, Rasstanny proezd. E-mail: [splenal@mail.ru](mailto:splenal@mail.ru)

*The article presents experimental data confirming the effect of capillary active substance (surfactants) and sedimentation stability on the final structure of the gel with stabilized silicic acid. Studies of the macrostructure of silica gel depending on the method of emulsification of silicic acid sol and the effect of the resulting fractality on the strength of the mold are presented.*

*The direction of modifying the binder for lost-wax casting (LWC) with obtaining the specified properties of the ceramic shell is shown.*

*The complex effect of organic polymers on the sol – gel system has been established. The conclusion is made about the possibility of using an aqueous dispersion of acrylic to form a given structure of a silica gel.*

**Keywords.** Ceramic shapes, strength, gel, structure, silica.

**For citation.** Tkachenko S. S., Yemelyanov V. O., Martynov K. V. Dependence of the fractality of the silica gel on the method of sol emulsification. Foundry production and metallurgy, 2021, no. 3, pp. 88–90. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-88-90>.

Прочность керамических форм – одна из основных проблем получения качественного художественного литья по выплавляемым моделям. Формирование кварцевой связки между зернами наполнителя и обсыпки – многостадийный процесс, который сопровождается массообменом с окружающей средой и образованием динамических структур [1]. Факторы, влияющие на конечное состояние керамики, многочисленны. Один из них – дисперсность системы золь – гель. Раствор кремнекислоты должен обеспечивать седиментационную устойчивость огнеупорной суспензии, а в процессе гелеобразования – формировать связующий каркас оптимальной структуры. Уместно предположить, что определяющим фактором будет способ эмульгирования золя. Для прояснения вопроса были подготовлены два образца геля кремниевой кислоты. Исходный золь стабилизирован натриевой щелочью до pH 9,5. Эмульгирование первого образца золя проводили алкилбензолсульфонатом. Структуру второго образца золя формировали водной дисперсией акрила. Отверждение происходило обезвоживанием на предметном стекле микроскопа.

Структура пленок геля показана на рис. 1. Толщина пленки порядка 10 мкм. Золь, эмульгированный алкилбензолсульфонатом, затвердевает в виде столбчатых образований (рис. 1, а). Промежутки между

фрагментами геля заполнены силикатом натрия. Это установлено при промывке геля водой и последующем нагреве до температуры 800 °С [1]. Эмульгирование водной дисперсией акрила приводит к образованию структуры с более высокой степенью фрактальности (рис. 1, б).

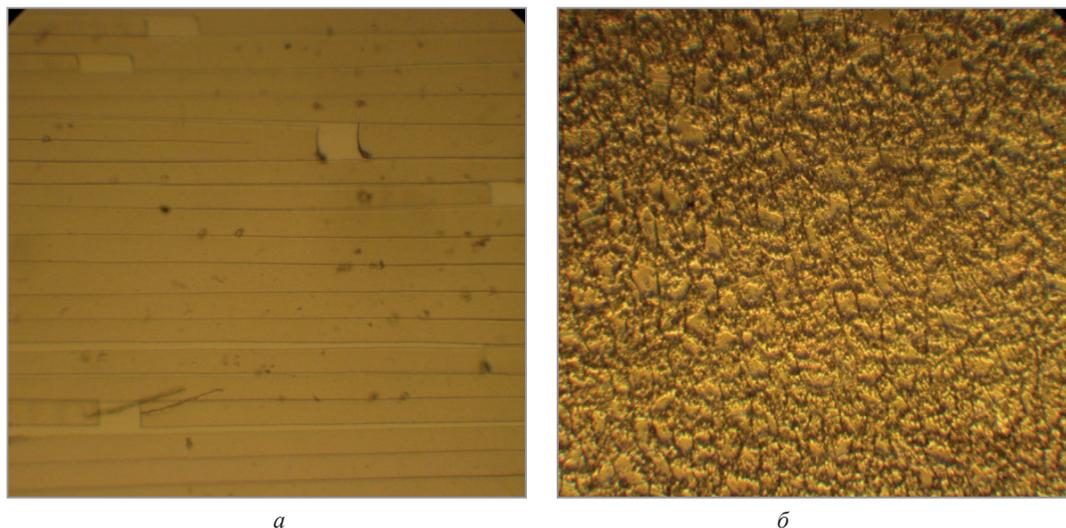


Рис. 1. Структура геля кремнекислоты: а – эмульгирование золя алкилбензолсульфонатом; б – эмульгирование золя водной дисперсией акрила.  $\times 400$

Гель, золь которого эмульгирован дисперсией акрила, показывает более высокие прочностные свойства в составе литейной керамики. Таким образом, можно утверждать, что способ диспергирования золя непосредственно влияет на несущую способность литейной формы.

Макроскопические изменения в структуре геля, полученного из кремнезоля в присутствии водной дисперсии акрила, приводят к изменению физических свойств литейной керамики [2]. Вопрос о механизме структурных изменений лежит в плоскости поверхностных явлений. Изучение структуры границы раздела фаз позволяет вплотную подойти к технологии наноконструирования литейной керамики.

Исследования методом электронной микроскопии показали существенные различия в строении геля на микроскопическом уровне. Гель без модификатора представляет собой компактную структуру (рис. 2). Неровная грань соответствует границе разрушения образца. Внутреннее строение геля связующего представляет собой кристалл кварцевого стекла.

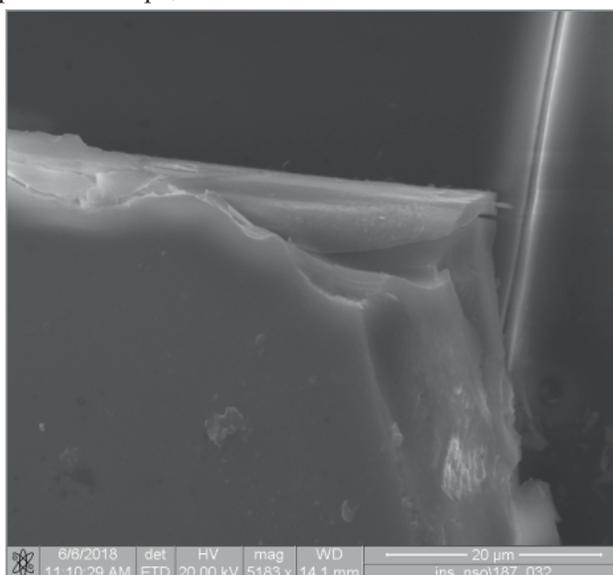


Рис. 2. Гель кремнезоля без модификатора

Введение в золь дисперсии акрила приводит к кардинальному изменению структуры. Степень фрактальности увеличивается. Появляется чрезвычайно развитая поверхность раздела: гель – силикат натрия в смеси с дисперсией акрила (рис. 3).

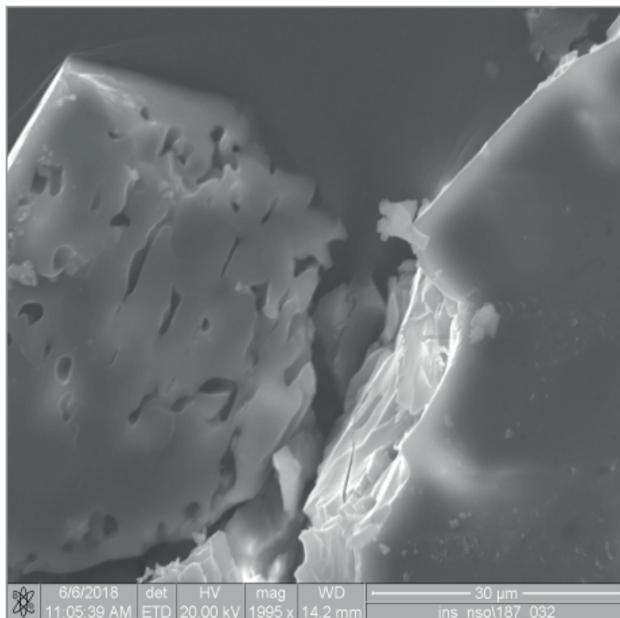


Рис. 3. Гель кремнекислоты, модифицированной дисперсией акрила

Использованные методики не позволяют ответить на вопрос о влиянии ликвации силиката натрия и акриловой дисперсии на прочностные свойства литейной керамики. На основании распределения деформаций можно предположить, что если силикат натрия располагается периферийно и соответственно формируется структура, близкая к монокристаллу, то акриловая дисперсия образует каркас, который приводит к объемному усложнению структуры геля.

Исследования показали, что силикат натрия и акриловая дисперсия оказывают близкое по направленности воздействие при гелеобразовании. Оба компонента приводят к увеличению степени фрактальности геля.

Прочность геля и соответственно прочность керамической формы зависят от структуры связующего в пределах 1 мкм. На молекулярном уровне формируется аморфная среда независимо от условий отверждения. Механизм структурообразования модифицированного кремнезоля является ключом к получению литейной керамики с заданными свойствами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бречко А. А., Емельянов В. О., Мартынов К. В. Особенности формирования структуры и поверхности контактного слоя керамических форм на основе ЭТС-40 и Сялит-20С // «Литейщик России». 2006. № 2.
2. Бречко А. А., Емельянов В. О., Мартынов К. В. Прочность керамических форм для литья по выплавляемым моделям // Сб. тр. 9-го съезда литейщиков. Уфа. 21–23 апреля 2009 г.

## REFERENCES

1. Brechko A. A., Emel'janov V. O., Martynov K. V. Osobennosti formirovaniya struktury i poverhnosti kontaktnogo sloja keramicheskikh form na osnove JeTS-40 i Sialit-20S [Features of the formation of the structure and surface of the contact layer of ceramic molds based on ETS-40 and Sialit-20C]. *Litejshhik Rossii = Foundry of Russia*, 2006, no. 2.
2. Brechko A. A., Emel'janov V. O., Martynov K. V. Prochnost' keramicheskikh form dlja lit'ja po vyplavljaemym modeljam [Strength of ceramic investment casting molds]. *Sbornik trudov IX s'ezda litejshhikov, 21–23 aprelya 2009 g., Ufa = Collection of works of the 9th congress of foundry workers, April 21–23, 2009, Ufa*.



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-91-96>  
УДК 620.3; 621.74

Поступила 10.08.2021  
Received 10.08.2021

## ФУЛЛЕРЕНЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЛИТЕЙНОМ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВАХ

*П. А. ВИТЯЗЬ*, Национальная академия наук Беларуси, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 66  
*Н. А. СВИДУНОВИЧ, Д. В. КУИС*, Белорусский государственный технологический университет,  
г. Минск, Беларусь, ул. Свердлова, 13а. E-mail: [KuisDV@belstu.by](mailto:KuisDV@belstu.by)  
*Ю. А. НИКОЛАЙЧИК, С. Л. РОВИН*, Белорусский национальный технический университет, г. Минск,  
Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: [foundry@bntu.by](mailto:foundry@bntu.by)

*Статья посвящена особой наноструктурной форме углерода – фуллеренам, открытие которых стало одним из важнейших событий в области физики в 80-х годах прошлого века. Рассматриваются вопросы получения и применения фуллеренов и других наноструктурированных материалов, в том числе гибридных, в литейном и металлургическом производствах: для модифицирования литейных сплавов, связующих и вспомогательных формовочных материалов, для получения керамических и гибридных нанокомпозитов и в других целях. Представлены также сведения о создании и функционировании ведущих мировых научно-исследовательских центров, специализирующихся на проблемах синтеза и применения наноматериалов в металлургии и литейном производствах.*

**Ключевые слова.** Фуллерены, наноматериалы, литейные сплавы, композиты, модифицирование, гибридные материалы.  
**Для цитирования.** Витязь, П. А. Фуллерены и перспективы их использования в литейном и металлургическом производствах / П. А. Витязь, Н. А. Свидунович, Д. В. Куис, Ю. А. Николайчик, С. Л. Ровин // *Литье и металлургия*. 2021. № 3. С. 91-96. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-91-96>.

## FULLERENES AND PROSPECTS OF THEIR USE IN FOUNDRY AND METALLURGICAL PRODUCTION

*P. A. VITIAZ*, National Academy of Science of Belarus, Minsk, Belarus, 66, Nezavisimosti ave.  
*N. A. SVIDUNOVICH, D. V. KUIS*, Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus, 13a, Sverdlova str.  
E-mail: [KuisDV@belstu.by](mailto:KuisDV@belstu.by)  
*Yu. A. NIKALAICHYK, S. L. ROVIN*, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus,  
65, Nezavisimosti ave. E-mail: [foundry@bntu.by](mailto:foundry@bntu.by)

*The article is devoted to a special nanostructured form of carbon – fullerenes, the discovery of which became one of the most important events in the field of physics in the 80s of the last century. The article discusses the issues of obtaining and using fullerenes and other nanostructured materials, including hybrid ones, in foundry and metallurgical production: for modifying casting alloys, binders and auxiliary molding materials, for obtaining ceramic and hybrid nanocomposites, and for other purposes. It also provides information on the creation and operation of the world's leading research centers specializing in the synthesis and application of nanomaterials in metallurgy and foundry.*

**Keywords.** Fullerenes, nanomaterials, foundry alloys, composites, modification, hybrid materials.  
**For citation.** Vitiaz P.A., Svidunovich N.A., Kuis, D.V., Nikalaichyk Yu.A., Rovin S.L. Fullerenes and prospects of their use in foundry and metallurgical production. *Foundry production and metallurgy*, 2021, no. 3, pp. 91-96. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-91-96>.

В 1985 г. группа исследователей, британский химик Харольд У. Крото, и американцы химик Роберт Ф. Керл мл. и физик Ричард Е. Смаллей, открыли новую молекулярную форму углерода – кластеры, состоящие из 60 и 70 атомов углерода, которые получили название «фуллерены». Это стало одним из важнейших научных открытий 80-х годов прошлого столетия, а в 1996 г. оно было отмечено Нобелевской премией в области химии [1].

Углерод является одним из наиболее распространенных элементов во Вселенной. Его содержание в земной коре составляет около 0,48 мас. %. В виде соединений с азотом и водородом углерод обнаружен в атмосфере Солнца, планет, найден в каменных и железных метеоритах. Углерод – важнейший

биогенный элемент. Кругооборот углерода в природе включает выделение  $\text{CO}_2$  в атмосферу при окислении органических веществ и возвращение его в результате фотосинтеза растениями. С растениями углерод попадает в организм животных и человека (содержание углерода в растениях и животных составляет около 17,5%), а затем при гниении (разложении) умерших животных и растений – в почву и в виде  $\text{CO}_2$  – снова в атмосферу. Способность углерода образовывать устойчивые полимерные цепочки является фундаментом целого класса соединений, называемых органическими, количество которых значительно превосходит количество неорганических.

Долгое время считалось, что углерод в природе в свободном виде существует в трех формах: в аморфном состоянии – в виде угля и в двух полиморфных (и в то же время аллотропных) видах – очень мягкий графит и сверхтвердый алмаз. Первый имеет гексагональную слоистую кристаллическую структуру, причем атомы в слоях связаны ковалентной связью, тогда как слои связаны друг с другом гораздо более слабыми ван-дер-ваальсовыми силами. Второй имеет кубическую решетку, где все атомы связаны очень сильными ковалентными силами. Структура графита является абсолютно устойчивой, а алмаз метастабилен (в вакууме или в инертном газе при повышенных температурах до 2000 °С переходит в графит). В то же время при давлениях до 10 ГПа и температурах 1200–2800 К графит превращается в алмаз. Различия в структуре придают этим материалам, имеющим одинаковый химический состав, абсолютно разные свойства: графит хорошо проводит электрический ток (особенно в плоскости кристаллических слоев), его удельное сопротивление составляет порядка  $10^{-4}$  Ом·см, алмаз – диэлектрик, его удельное электрическое сопротивление  $10^{14}$ – $10^{16}$  Ом·см; значение твердости графита по шкале Мооса равно 1, а алмаз является самым твердым из минералов – 10 баллов по шкале Мооса; графит имеет темно-серый цвет, а алмаз – бесцветное прозрачное вещество; плотность графита при 20 °С – 2080–2266 кг/м<sup>3</sup>, плотность алмаза – 3510 кг/м<sup>3</sup>; алмаз при нагревании расширяется, хотя и незначительно, температурный коэффициент составляет около  $1 \cdot 10^{-6}$  К<sup>-1</sup>, а графит сжимается при нагревании (коэффициент теплового расширения графита до 700 К отрицателен).

Открытие фуллеренов и позднее (в 2004 г) графенов значительно расширило и без того чрезвычайно многообразный мир углерода. Первые фуллерены были получены во время спонтанной газофазной нуклеации атомов, испаренных из графита лазерным излучением. Структура фуллерена представляет собой выпуклые замкнутые многогранники, составленные из трехкоординированных атомов углерода (на такое название первооткрывателей натолкнули купола, разработанные американским архитектором, дизайнером и математиком Ричардом Бакминстером Фуллером, основным конструктивным элементом каркаса которых были пяти- и шестиугольники).

Молекула  $\text{C}_{60}$  (ее часто называют бубиболом) занимает центральное место в семействе фуллеренов. Она имеет форму усеченного икосаэдра и обладает наивысшей симметрией, имеет наибольшую энергию связи в расчете на атом и, следовательно, наиболее распространена. Ее атомы расположены в вершинах 20 шестиугольников и 12 пятиугольников так, что каждый шестиугольник граничит с тремя шестиугольниками и тремя пятиугольниками, тогда как каждый пятиугольник граничит только с шестиугольниками. Следующим по распространенности является фуллерен  $\text{C}_{70}$ , отличающийся от фуллерена  $\text{C}_{60}$  вставкой пояса из 10 атомов углерода в экваториальной области, в результате чего молекула  $\text{C}_{70}$  приобретает вытянутую форму, напоминающую мяч для регби. Так называемые высшие фуллерены, содержащие большее число атомов углерода (до 400), образуются в значительно меньших количествах и, как правило, имеют сложную изомерную структуру [1].

В 90-х годах были разработаны эффективные технологии производства (сегодня наиболее популярным методом получения фуллеренов является сжигание графитовых электродов в электрической дуге в атмосфере гелия при низких давлениях), разделения и глубокой очистки фуллеренов в количествах, достаточных для выращивания кристаллов макроскопических размеров и получения конденсированных систем, состоящих из молекул фуллеренов различных размеров, названных фуллеритами.

Решение задачи получения фуллеренов в достаточных количествах способствовало активизации исследований, направленных на поиск областей их применения, и привело к открытию многих новых интересных свойств этих нанообъектов.

Помимо направленного синтеза, фуллерены можно обнаружить в саже на графитовых электродах, они были найдены в некоторых образцах шунгитов Северной Карелии и аналогичных породах в США, в некоторых донных отложениях, они могут образовываться при разряде молнии и при сжигании углеводородов, относительно недавно фуллерены в значительных количествах были обнаружены и в космосе [2].

Уникальные оптические свойства фуллеренов позволяют использовать их в качестве оптических затворов в лазерной технике. Кристаллы фуллерена являются полупроводниками и применяются

в электронной промышленности в качестве наноразмерных фотоэлементов и усилителей, маски из полимеризованной пленки  $C_{60}$  используются при травлении кремния. Применение фуллеренов позволяет в 3–5 раз увеличить скорость роста алмазных пленок CVD-методом. Легирование фуллеренов атомами щелочных металлов позволяет получить уникальные по характеристикам молекулярные высокотемпературные сверхпроводники.

Присутствие фуллерена  $C_{60}$  в минеральных смазках инициирует на трущихся поверхностях образование защитной фуллерено-полимерной пленки толщиной  $\leq 100$  нм. Образованная пленка защищает от термической и окислительной деструкции, увеличивает время жизни узлов трения в аварийных ситуациях в 3–8 раз, обеспечивает термостабильность смазок до 400–500 °С и повышает несущую способность узлов трения в 2–3 раза [2].

Фуллерены являются мощнейшими антиоксидантами, в среднем они превосходят действие всех других известных на сегодняшний день в сотни раз. Предполагается, что именно благодаря этому они способны значительно продлевать среднюю продолжительность жизни. В 2007 г. были проведены исследования, показавшие, что фуллерены могут оказаться перспективными для использования в составе противоаллергических средств. Различные производные фуллеренов показали себя эффективными средствами в лечении вируса иммунодефицита человека: белок, ответственный за проникновение вируса в кровяные клетки – ВИЧ-1-протеаза, имеет сферическую полость диаметром 10 Å, форма которой остается постоянной при всех мутациях. Такой размер почти совпадает с диаметром молекулы фуллерена. Синтезировано производное фуллерена, которое растворимо в воде и способно блокировать активный центр ВИЧ-протеазы, без которой невозможно образование новой вирусной частицы [3].

Учитывая широкое применение углерода в литейном и металлургическом производствах, возможности и перспективы использования фуллеренов вызывают у специалистов и ученых, работающих в отрасли, огромный интерес.

В Белорусском государственном технологическом университете были проведены обширные исследования, направленные на выявление фуллереноподобных фаз в чугунах различных типов. В результате рентгенофазового анализа и исследований с применением методов сканирующей электронной микроскопии было установлено [4]:

- в образцах чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом идентифицированы фуллерены, их содержание находилось в пределах 4,9–5,8% от общего содержания углерода в сплаве (максимальное количество фуллереноподобных фаз было выявлено в чугунах, легированных алюминием);
- в образцах серого чугуна содержание фуллеренов не превышало 2,1%;
- в белом чугуне фуллерены выявлены не были.

Схожие результаты были получены исследователями Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева и Белорусского государственного университета.

Исследователями Иркутского государственного технического университета совместно со специалистами Кандалакшского алюминиевого завода были проведены опытные плавки чугуна с заменой металлургического графита, применяемого в качестве науглероживателя, на угольную пену, образующуюся при электролизном производстве алюминия на электролизерах и содержащую около 0,1% фуллереновых нанотрубок. Параллельно при тех же технологических параметрах проводили выплавку стандартного чугуна-свидетеля с применением традиционных материалов. Все образцы из опытных плавки имели прочность выше образцов из чугуна-свидетеля. В среднем прочность на разрыв образцов, изготовленных с использованием наночастиц углерода, увеличилась на 29% [5].

Значительный интерес вызывает применение фуллеренов и фуллереновой сажи в порошковой металлургии.

Учеными БГТУ были исследованы образцы, полученные методом высокотемпературной интенсивной пластической деформации из порошка карбонильного железа, в который добавляли различное количество фуллереносодержащих материалов (от 3 до 10%): фуллереносодержащая сажа, многостенные нанотрубки, нановолокна, экстракт фуллереносодержащей сажи, фуллереновая чернь, фуллерены  $C_{60}$  и  $C_{70}$  [6].

В результате были получены образцы нанокompозитного материала на основе Fe-C с включениями частиц особо твердой ( $H_{\mu}$  от 10 до >30 ГПа) алмазоподобной, обладающей высокой упругостью углеродной фазой и железо-углеродной матрицей высокой твердости ( $H_{\mu} \sim 3\text{--}11$  ГПа). Микрорентгеноспектральным анализом было определено, что сверхтвердая фаза содержит только углерод. Макротвердость образцов находилась в пределах 60–90 HRC. Все опытные образцы имели наноструктурированную основу с размером кристаллитов  $\sim 10\text{--}40$  нм.

Твердость полученных образцов оказалась на порядок выше эталонных образцов, в которых использовался обычный графит. Исследования позволили установить, что именно фуллерены обеспечивают получение сверхтвердой фазы, причем эффект достигается уже при добавлении 3% фуллеренсодержащего материала. Важнейшим технологическим параметром процесса, определяющим стабильность решетки фуллерита, свойства матричного металла и диффузию углерода в металлическую решетку, является температура синтеза [6].

Исследования показали, что применение фуллеренсодержащих добавок позволяет в широком диапазоне изменять структуру формируемого материала, обеспечивая высокую твердость, износостойкость и режущую способность инструмента. Это открывает возможности создания принципиально новых композиционных инструментальных материалов с уникальными свойствами.

Тесное сотрудничество ученых, работающих в разных областях науки, способствовало разработке наноматериалов нового поколения – нанокompозитов или наногибридных материалов, представляющих собой гомогенные смеси органических и неорганических компонентов, имеющих размеры менее 1 мкм. Гибридные нанокompозиты производятся, как правило, методами *in-situ* (рис. 1) и *ex-situ* (рис. 2) [7].

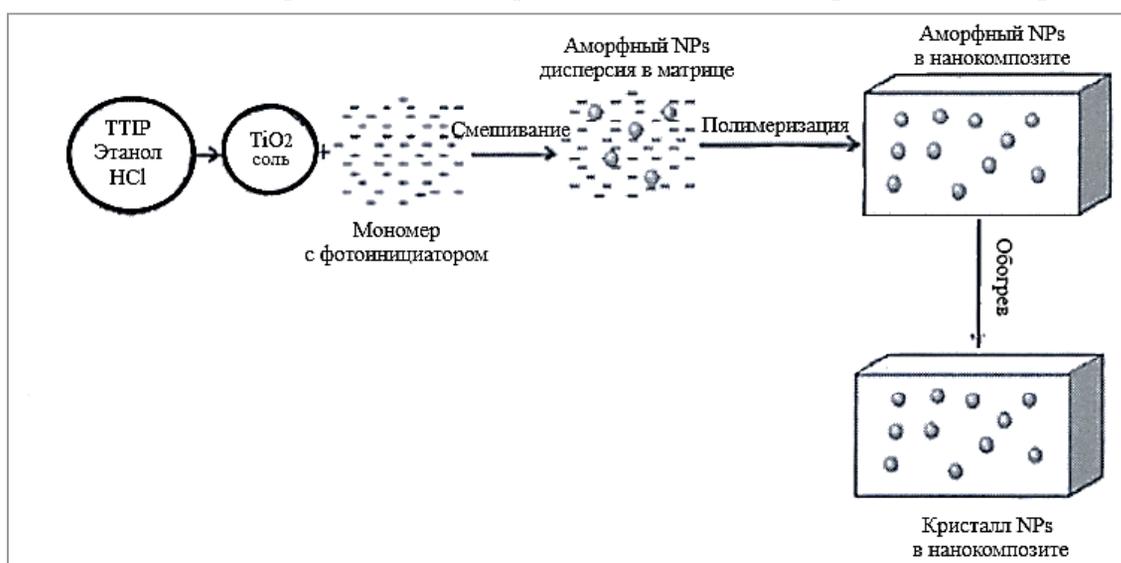


Рис. 1. Схема *in-situ* синтеза в гибридных материалах

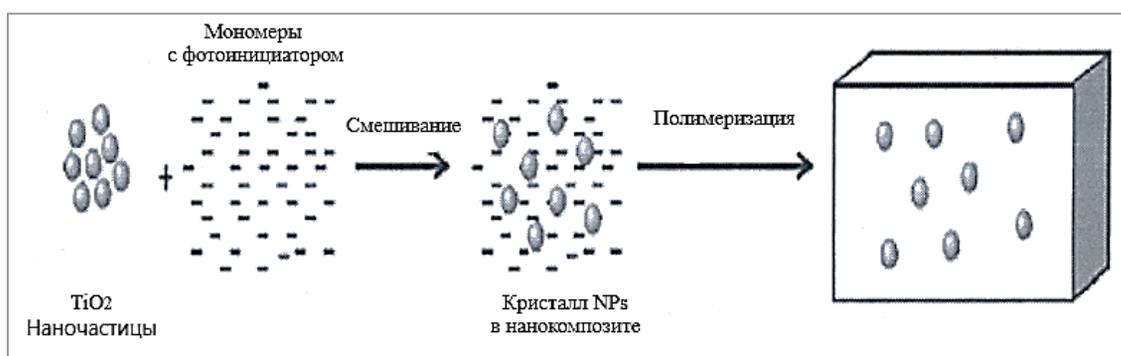


Рис. 2. Схема *ex-situ* синтеза в гибридных материалах

Примером таких гибридных материалов, используемых в литейном производстве, могут служить огнеупорные суспензии, применяемые для изготовления огнеупорных керамических оболочек, при производстве отливок по выплавляемым моделям: в точном стальном литье, в литье художественных изделий, в ювелирном производстве и т.д. Основными компонентами таких огнеупорных суспензий являются тонкодисперсный огнеупорный наполнитель (пылевидный кварц, хромитовый или оливинный порошки и т.п.) и связующее – гидролизованый раствор этилсиликата, содержащий кремнезем, соляную кислоту и, как правило, спиртовой растворитель. Силикатное связующее – дешевый, легко доступный и нетоксичный материал. Благодаря этому огнеупорные суспензии на этилсиликате и формовочные смеси на силикате натрия (жидком стекле) соответствуют рекомендациям ЕС относительно охраны окружающей

среды в литейном производстве (в том числе по ограничению выбросов вредных веществ). Основные недостатки смесей на этих связующих – их недолговечность относительно смесей с органическими связующими, гигроскопичность, меньшая прочность, большая осыпаемость, а смесей на жидком стекле – затрудненная выбиваемость и регенерируемость.

Одним из наиболее эффективных способов улучшения технологических свойств силикатных связующих является их модифицирование. При этом в качестве модификаторов все чаще используются ультрадисперсные и даже наноструктурированные материалы. Так, в БНТУ разработан способ и получен патент на автоклавное модифицирование жидкого стекла нанодисперсными добавками природного шунгита (аморфный, фуллереноподобный углерод, в среде которого рассредоточены глобулы силиката размером около 10–20 нм). Лабораторные исследования показали, что применение углеродсодержащего наномодификатора (в количестве 0,08–0,16 мас. %) позволяет добиться снижения работы выбивки более чем в 1,5 раза, при этом сохраняя экологические преимущества жидкостеклового связующего. Главное отличие ультрадисперсного модификатора в том, что благодаря его размеру он встраивается внутрь структуры глобулы силикагеля, не нарушая и даже несколько увеличивая прочность смеси, в то же время при температуре 800–900 °С, когда происходит термическая деструкция модификатора (газификация углерода), разрушается и сама глобула силикагеля, обеспечивая желаемое уменьшение остаточной прочности жидкостеклового связующего и снижение трудоемкости операций выбивки форм и регенерации смеси [8].

В работе [9] приведены результаты исследования модифицирования силиката натрия наночастицами металлических оксидов, таких, как MgO, ZnO и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. В результате были получены нанокompозиты, обеспечившие значительное улучшение смачиваемости кварцевой матрицы связующим, что позволяет значительно (более чем в 2 раза) уменьшить количество связующего при сохранении прочности смеси: тонкая пленка нанокompозитного связующего позволяет получить соединения практически «без покрытия».

Весьма перспективным представляется применение гибридных материалов в качестве защитных многофункциональных покрытий. Такие покрытия с наноматериалами уже сегодня эффективно применяются в автомобильной промышленности, например, на металлических поверхностях – на днище и литых дисках автомобилей и т.п. Тонкая пленка покрытия не только защищает поверхность от износа, но, образуя гидрофобную пленку, гарантирует практически полную несмачиваемость ее водой, смазочными материалами, маслами, грязью и т.д., обеспечивая эффект самоочищения поверхности.

Нанотехнологии и специфические свойства наноматериалов, в том числе гибридных, обуславливают недостижимые ранее возможности синтеза новых материалов и точного проектирования объектов с уникальными свойствами (от наномасштаба и даже молекулярного уровня до макрообъектов).

О пристальном внимании к этим вопросам и перспективности использования наноматериалов в металлургии и литейном производстве свидетельствует создание специализированных институтов и научно-исследовательских центров практически во всех индустриально развитых странах: в США и Японии, Китае и Южной Корее, Вьетнаме и Австралии, Великобритании, Канаде, Индии, Бразилии и др. В 2008 г. в ЕС была создана специальная научно-исследовательская платформа Литейное производство, нанонаука и тонкий анализ (Nanoscience Foundry and Fine Analysis – NFFA), задачей которой является координация и объединение усилий научных центров, исследовательских лабораторий, академических институтов, университетов и крупных промышленных предприятий, направленных на развитие нанотехнологий и применение их в литейном и металлургическом производствах. Сегодня эта платформа объединяет уже 22 организации, а бюджет проекта составляет около 15 млрд. евро [10].

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Зубов В.И.** Третья молекулярная форма углерода – фуллерены, фуллериты и фуллериды, предыстория, открытие и физические свойства // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 2010. Т. 53. Вып. 10. С. 4–17.
2. **Ковтун Г.П., Веревкин А.А.** Наноматериалы: технологии и материаловедение. Обзор. Харьков: ННЦ ХФТИ, 2010. 73 с.
3. **Simon H. Friedman et al.** Inhibition of the HIV-1 protease by fullerene derivatives: model building studies and experimental verification // J. Am. Chem. Soc. 1993. Vol. 115. No. 15. P. 6506–6509.
4. **Свидинович Н.А., Окатова Г.П., Прудникова Е.И., Писаренко Л.З., Куис Д.В.** Фуллереноподобные фазы в чугунах различных типов // Литье и металлургия. 2003. № 3. С. 43–49.
5. **Кондратьев В.В., Иванов Н.А., Ржечицкий Э.П., Сысоев И.А.** Перспективы применения нанотехнологий и наноматериалов в горнометаллургической промышленности // Вест. ИрГТУ. 2010. № 1. С. 168–174.

6. **Куйс Д. В., Свидуневич Н. А., Окатова Г. П. и др.** О механизме структурообразования особо твердой углеродной фазы в нанокompозите на основе железа и нанодисперсного углерода // *Литье и металлургия*. 2010. № 3. С. 244–246.
7. **Alemân, V., Chadwick, A.V., He, J., Hess, M., Horie, K., Jones, R.G. et al. (2007).** Pure and Applied Chemistry The Scientific Journal of IUPAC, Definitions of terms relating to the structure and processing of sols, gels, networks, and inorganic-organic hybrid materials (IUPAC Recommendations 2007). Pure Appl. Chem. 79, 1801–1829.
8. Легковываемая жидкостекольная смесь для литейных форм и стержней: пат. 21926 Респ. Беларусь, В22С1/18 / Ю. Ю. Гуминский, А. Н. Крутилин, Ю. Н. Фасевич; заявитель Белорус. нац. техн. ун-т. Заяв. № а20150673; заявл. 29.12.2015; опубл. 30.06.2018.
9. **Kmita, A.** Modification of water glass as binder for molding sands by metal oxide nanoparticles in organic solvents. Unpublished doctoral dissertation, AGH Krakow. 2014.
10. Nanoscience Foundries and Fine Analysis – Europe/PILOT. <https://cordis.europa.eu/project/id>. Дата доступа: 12.08.2021.

## REFERENCES

1. **Zubov V.I.** Tret'ja molekularnaja forma ugljeroda – fullereny, fullerity i fulleridy, predystorija, otkrytie i fizicheskie svojstva [The third molecular form of carbon – fullerenes, fullerites and fullerides, prehistory, discovery and physical properties]. *Izvestie vuzov. Himija i himicheskaja tehnologija = News of universities. Chemistry and chemical technology*, 2010, vol. 53, no. 10, pp. 4–17.
2. **Kovtun G.P., Verevkin A.A.** *Nanomaterialy: tehnologii i materialovedenie* [Nanomaterials: Technologies and Materials Science]. Obzor. Har'kov. NNC HFTI Publ., 2010. 73 p.
3. **Simon H. Friedman et al.** Inhibition of the HIV-1 protease by fullerene derivatives: model building studies and experimental verification. *J. Am. Chem. Soc.* 1993, vol. 115, no. 15, pp. 6506–6509.
4. **Svidunovich H.A., Okatova G.P., Prudnikova E.I., Pisarenko L.Z., Kuis D.V.** Fullerenopodobnye fazy v chugunah razlichnyh tipov [Fullerene-like phases in cast irons of various types]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2003, no. 3, pp. 43–49.
5. **Kondrat'ev V.V., Ivanov N.A., Rzhchickij Je.P., Sysoev I.A.** Perspektivy primeneniya nanotehnologij i nanomaterialov v gornometallurgicheskoj promyshlennosti [Prospects for the application of nanotechnology and nanomaterials in the mining and metallurgical industry]. *Vestnik IrGTU = Bulletin of Irkutsk State Technical University*, 2010, no. 1, pp. 168–174.
6. **Kuis D.V., Svidunovich N.A., Okatova G.P. i dr.** О механизме структурообразования особо твердой углеродной фазы в нанокompозите на основе zheleza i nanodispersnogo ugljeroda [On the mechanism of structure formation of a particularly hard carbon phase in a nanocomposite based on iron and nanodispersed carbon]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2010, no. 3, pp. 244–246.
7. **Alemân V., Chadwick A.V., He J., Hess M., Horie K., Jones R.G. et al. (2007).** Pure and Applied Chemistry The Scientific Journal of IUPAC, Definitions of terms relating to the structure and processing of sols, gels, networks, and inorganic-organic hybrid materials (IUPAC Recommendations 2007). Pure Appl. Chem. 79, 1801–1829.
8. **Guminskij Ju. Ju., Krutilin A.N., Fasevich Ju.N.** *Legkovybvavaemaja zhidkostekol'naja smes' dlja litejnyh form i stержnej* [Easy-to-remove liquid glass mixture for molds and cores]. Patent BY, no. 21926 V22S1/18.; заявитель i patentoobladatel' Belorusskij nacional'nyj tehničeskij universitet; заявка no. а 20150673 ot 29.12.2015; opubl. 30.06.2018.
9. **Kmita A.** Modification of water glass as binder for molding sands by metal oxide nanoparticles in organic solvents. Unpublished doctoral dissertation, AGH Krakow, 2014.
10. Nanoscience Foundries and Fine Analysis – Europe/PILOT. <https://cordis.europa.eu/project/id>. Access date: 12.08.2021.



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-97-105>  
УДК 669.1.017:620.18; 669.1.017:620.17

Поступила 09.07.2021  
Received 09.07.2021

## ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОИСТЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Fe–Al

Ф. И. РУДНИЦКИЙ, И. В. РАФАЛЬСКИЙ, П. Е. ЛУЩИК, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. Тел. +375 29 628-38-55  
А. И. ПОКРОВСКИЙ, В. В. ПЕТРЕНКО, Физико-технический институт НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь, ул. Купревича, 10. E-mail: arturu@tut.by

*Представлены результаты экспериментальных исследований структурных характеристик слоистых композитов на основе системы Fe–Al, полученных с использованием различных твердофазных методов деформирования материалов (гидроударной штамповки, поперечно-клиновой прокатки) и жидкофазного (металлургического) способа получения многослойных композитов.*

**Ключевые слова.** Слоистые композиты, система Fe–Al, структура, гидроударная штамповка, поперечно-клиновая прокатка, жидкофазные процессы, сплавы алюминия и железа.

**Для цитирования.** Рудницкий, Ф. И. Получение и исследование структурных характеристик слоистых композитов на основе системы Fe–Al / Ф. И. Рудницкий, И. В. Рафальский, П. Е. Луцник, А. И. Покровский, В. В. Петренко // *Литье и металлургия*. 2021. № 3. С. 97–105. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-97-105>.

## FABRICATION AND STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF Fe–Al–BASED LAMINATED COMPOSITES

F. I. RUDNITSKI, I. V. RAFALSKI, P. E. LUSHCHIK, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. Tel. +375 29 628-38-55  
A. I. POKROVSKI, V. V. PETRENKO, Physical-Technical Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, 10, Kuprevicha str. E-mail: arturu@tut.by

*The paper presents the results of experimental studies of the structural characteristics of layered composites based on the Fe–Al system, obtained using various solid-phase methods of material deformation (hydropercussion stamping, cross-wedge rolling) and a liquid-phase (metallurgical) method for producing multilayer composites.*

**Keywords.** Layered composites, Fe–Al system, structure, hydropercussion stamping, cross-wedge rolling, liquid-phase processes, aluminum and iron alloys.

**For citation.** Rudnitski F. I., Rafalski I. V., Lushchik P. E., Pokrovski A. I., Petrenko V. V. Fabrication and structural characterization of Fe–Al-based laminated composites. *Foundry production and metallurgy*, 2021, no. 3, pp. 97–105. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-97-105>.

### Введение

Исследование процессов структурообразования и разработка эффективных процессов получения многослойных композитов, изготовленных с использованием разнородных материалов на основе железа и алюминия, является сложной задачей, имеющей важное прикладное значение. Развитие фундаментальных научных знаний о межфазном взаимодействии и процессах формирования структурных особенностей границы раздела слоистых Fe–Al материалов может быть использовано для проектирования новых технологических процессов изготовления слоистых композиционных материалов конструкционного и функционального назначения, широко востребованных в таких отраслях промышленности, как строительная, аэрокосмическая, автомобильная, спортивная и др.

Одними из наиболее широко используемых процессов для изготовления слоистых композитов системы Fe–Al являются различные методы деформирования материалов, в том числе методы горячей и холодной прокатки, накопительной пакетной прокатки, сварки взрывом, диффузионной сварки, обеспечивающие разрушение оксидной пленки на поверхности материалов и твердофазное взаимодействие

между атомами соединяемых поверхностей [1–7]. Проблемой твердофазных способов соединения сплавов на основе алюминия и железа является формирование на границе раздела интерметаллических фаз ( $\text{Al}_3\text{Fe}$ ,  $\text{Al}_5\text{Fe}_2$  и др.), значительно снижающих механические и эксплуатационные свойства слоистых композитов [8, 9].

Известны альтернативные жидкофазные способы получения многослойных композитов из материалов на основе алюминия и железа, основанные на идее пропитки расплавом алюминия стальных пакетов с использованием активирующих флюсов [10], активирующих флюсов и легирующих добавок титана [11], покровных флюсов [12], которые предлагается применять для улучшения смачивания стали жидким алюминием и улучшения адгезионной связи по границе контакта разнородных материалов. Общий недостаток жидкофазных методов пропитки расплавом алюминия стальных пакетов – формирование промежуточных слоев из хрупких интерметаллических фаз железо–алюминий, образующихся на границе раздела разнородных материалов на основе железа и алюминия в процессе выдержки стального пакета в расплаве при температуре перегрева над линией ликвидус алюминиевого сплава на 50–100 °С и выше (до 850 °С) [10–12].

Таким образом, изучение структурных характеристик и механизмов формирования границы раздела разнородных материалов на основе железа и алюминия как одного из наиболее важных факторов, влияющих на свойства слоистого композита, является актуальной задачей для разработки эффективных процессов получения многослойных композитов системы Fe–Al.

### Методика получения экспериментальных образцов слоистых композитов

Изготовление слоистых образцов из разнородных материалов на основе железа и алюминия осуществляли с использованием различных технологических схем: 1) методами деформации (гидроударной штамповки, поперечно-клиновой прокатки); 2) методом погружения пакетов стальных листовых материалов в расплав алюминия с последующим его затвердеванием (металлургическая схема получения).

Технология гидроударной штамповки представляет собой особую разновидность холодной листовой штамповки для получения изделий из листового металла (алюминия, углеродистой и нержавеющей стали, титана, латуни, меди, жаропрочных сплавов и др., в том числе редких: серебро, платина, ниобий) толщиной от 0,2 до 3,0 мм. Деформирование листовых материалов производится кратким мощным импульсом высокого давления, создаваемого в результате удара быстро движущегося бойка по замкнутому объему жидкой (или эластичной) среды, заполняющей рабочую камеру пресса. Особенностью процесса является кратковременность приложения нагрузки (300–600 мкс) и отсутствие пуансона, роль которого выполняет передающая среда (жидкость или полиуретан). Источником энергии, запасаемой в аккумуляторе пресса, является сжатый воздух стандартной цеховой пневматической системы типового давления. Преимущества гидроударной штамповки, отличающие ее от традиционной штамповки: более высокая эффективность для труднодеформируемых материалов, возможность обработки материалов с пониженными характеристиками пластичности, высокое качество поверхности (отсутствуют риски, задиры). Для получения слоистых композитов из разнородных листовых материалов на основе железа и алюминия использовали различные комбинации листовых материалов на основе алюминия толщиной от 0,5 до 0,77 мм и стали толщиной от 0,2 до 0,71 мм. Изготовление образцов слоистых композитов осуществляли в виде вогнутых сэндвич-панелей диаметром 30 мм (рис. 1, а, б) с использованием пресса гидроударной штамповки ЛГУ-1 (параметры рабочей камеры: диаметр – 50 мм, высота – 40 мм, масса ударного бойка – 774 г).

Экспериментальные образцы слоистых композитов системы алюминий–сталь с использованием метода поперечно-клиновой прокатки изготавливали в виде трубчатых биметаллических сэндвичей (в выточенную втулку из стали помещали свободной посадкой алюминиевый стержень), формообразование которых осуществляли путем перераспределения металла вдоль оси заготовки движущимся поперек оси плоским клиновым инструментом. Внешний вид полученных образцов представлен на рис. 1, в, г.

Кроме методов деформации, для получения слоистых композитов на основе железа и алюминия использовали технологическую схему погружения пакетов стальных листов (рис. 2) в расплав алюминия с последующим его затвердеванием.

Схема получения слоистых композитов из листовых материалов на основе железа и алюминия методом погружения пакета стальных листовых материалов в расплав алюминия с последующим его затвердеванием включала следующие основные этапы: 1) подготовка поверхности листовых



Рис. 1. Внешний вид (*а, в*) и поперечный разрез (*б, г*) экспериментальных образцов слоистых композитов, полученных с использованием различных схем деформации материалов на основе железа и алюминия:  
*а, б* – методом гидроударной штамповки; *в, г* – методом поперечно-клиновой прокатки

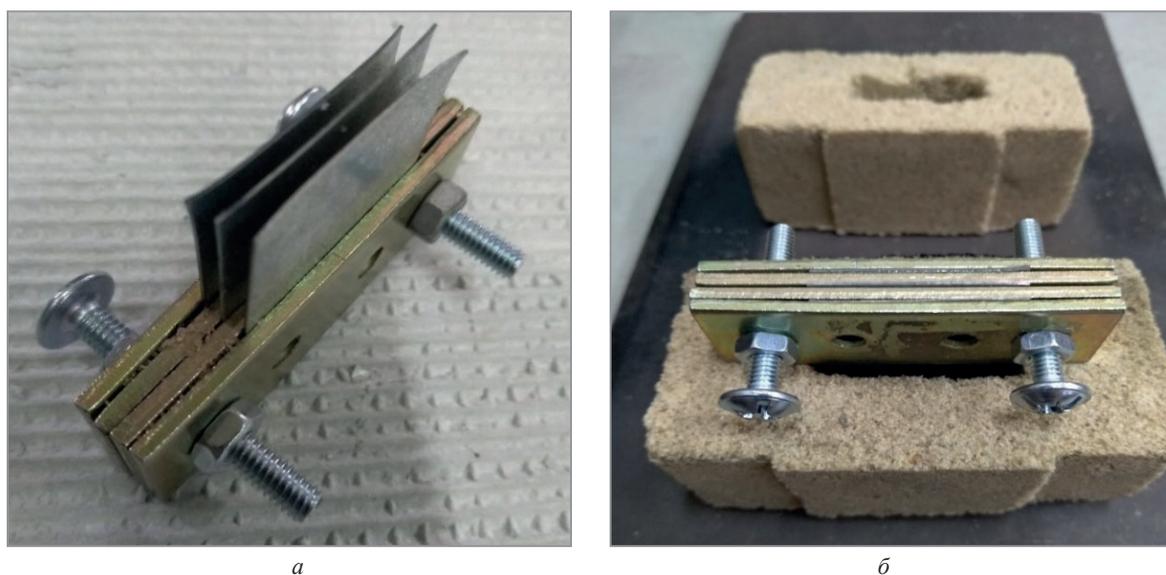


Рис. 2. Внешний вид пакета стальных листовых материалов с зазором между листами 1,3–2,0 мм (*а*) и разовых литейных форм из песчаной жидкостекольной смеси для изготовления слоистых композитов методом погружения пакета стальных листовых материалов в расплав алюминия (*б*)

материалов (очистка, шлифование, обезжиривание); 2) сборка пакета стальных листовых материалов с зазором между листами 1,3–2,0 мм (рис. 2, *а*); 3) погружение собранного пакета в расплав технически чистого алюминия при температуре 700 °С с использованием разовых литейных форм, изготовленных из песчаной смеси с жидкостекольным (3–5 мас. %) связующим (рис. 2, *б*); 4) охлаждение формы с пакетом до полного затвердевания расплава алюминия и извлечение слоистого композита из формы.

### Полученные результаты и их обсуждение

Установлено, что в процессе гидроударной штамповки пакетов листовых материалов на основе алюминия (алюминиевый деформируемый сплав АМцМ) и железа (низкоуглеродистая сталь 08кп) при энергии удара УГФ от 510 до 905 Дж для всех использованных комбинаций листов наблюдалось полное или частичное расслоение слоев. При использовании высокоэнергетических параметров воздействия на деформируемые материалы (905 Дж) наблюдалось появление трещин на стальном слое, гофрообразование и частичное разрушение образцов. Таким образом, применение схем деформации при гидроударной штамповке, не предусматривающих возможность перераспределения материала соприкасающихся слоев деформируемой заготовки при воздействии сдвиговых нагрузок, не позволяет обеспечить формирование прочных соединений листовых материалов на основе алюминия и железа.

Исследование влияния эффекта перераспределения материала в зоне контакта разнородных металлов при совместной пластической деформации под воздействием сдвиговых нагрузок проводили с использованием образцов материалов системы алюминий-сталь в виде трубчатых биметаллических сэндвичей, полученных методом поперечно-клиновой прокатки. Установлено, что в экспериментальных образцах, полученных с использованием метода продольно-клиновой прокатки материалов на основе железа (сталь Ст45) и алюминия (алюминий технической чистоты, деформируемый сплав АК6), соединение разнородных материалов реализуется преимущественно без дефектов расслоения с четко выраженной границей раздела.

Металлографический анализ границы раздела слоев разнородных сплавов (рис. 3, 4) свидетельствует о наличии четко выраженной переходной зоны, имеющей структурные отличия как от материала стали,

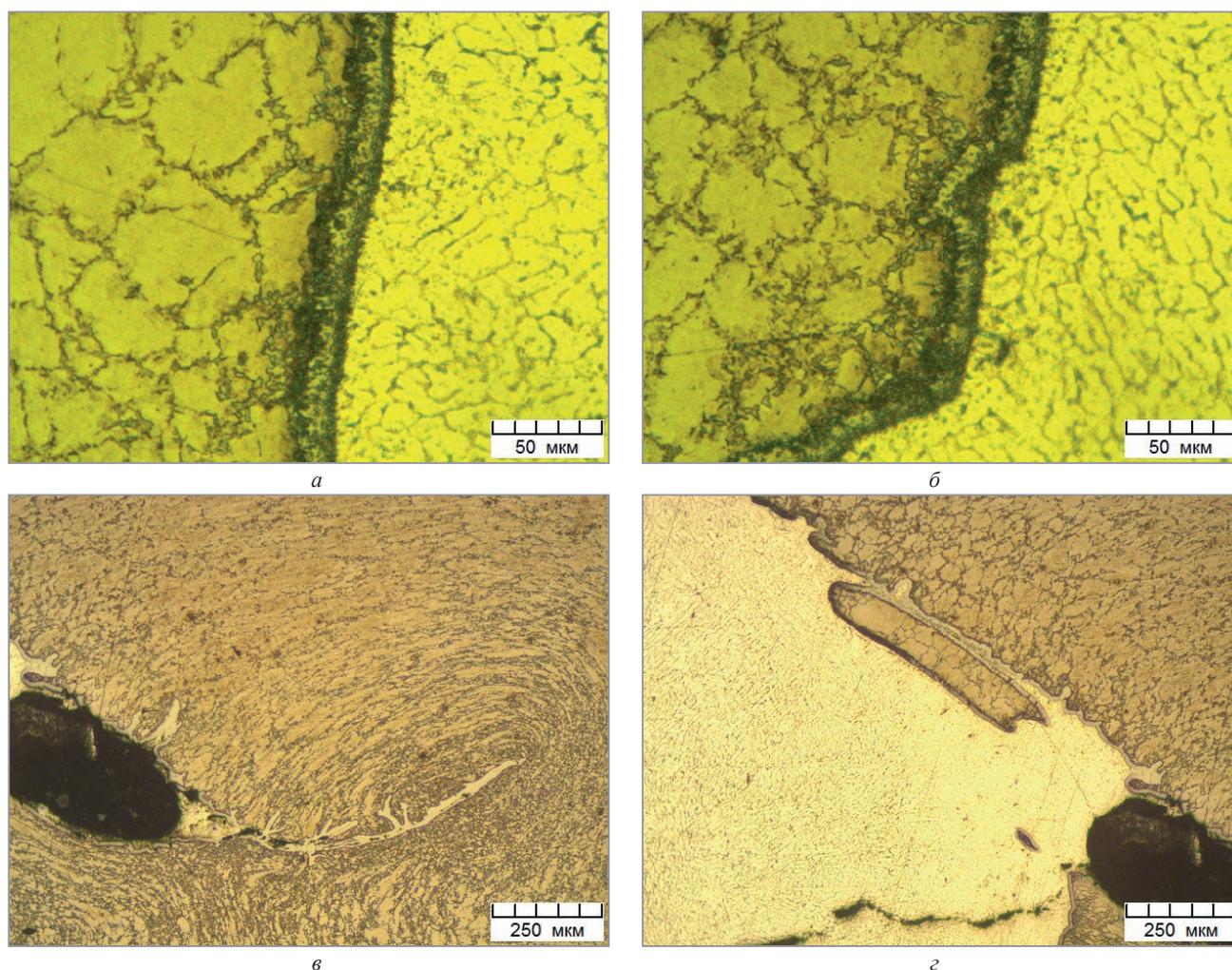


Рис. 3. Микроструктура переходной зоны (а, б) и дефекты «сварного шва» (в, г) на границе раздела разнородных материалов на основе железа и алюминия: а – центральная часть соединения; б – угловая часть соединения; в – пористость; г – замешивание разнородных материалов (поперечно-клиновая прокатка, температура деформации 450 °С)

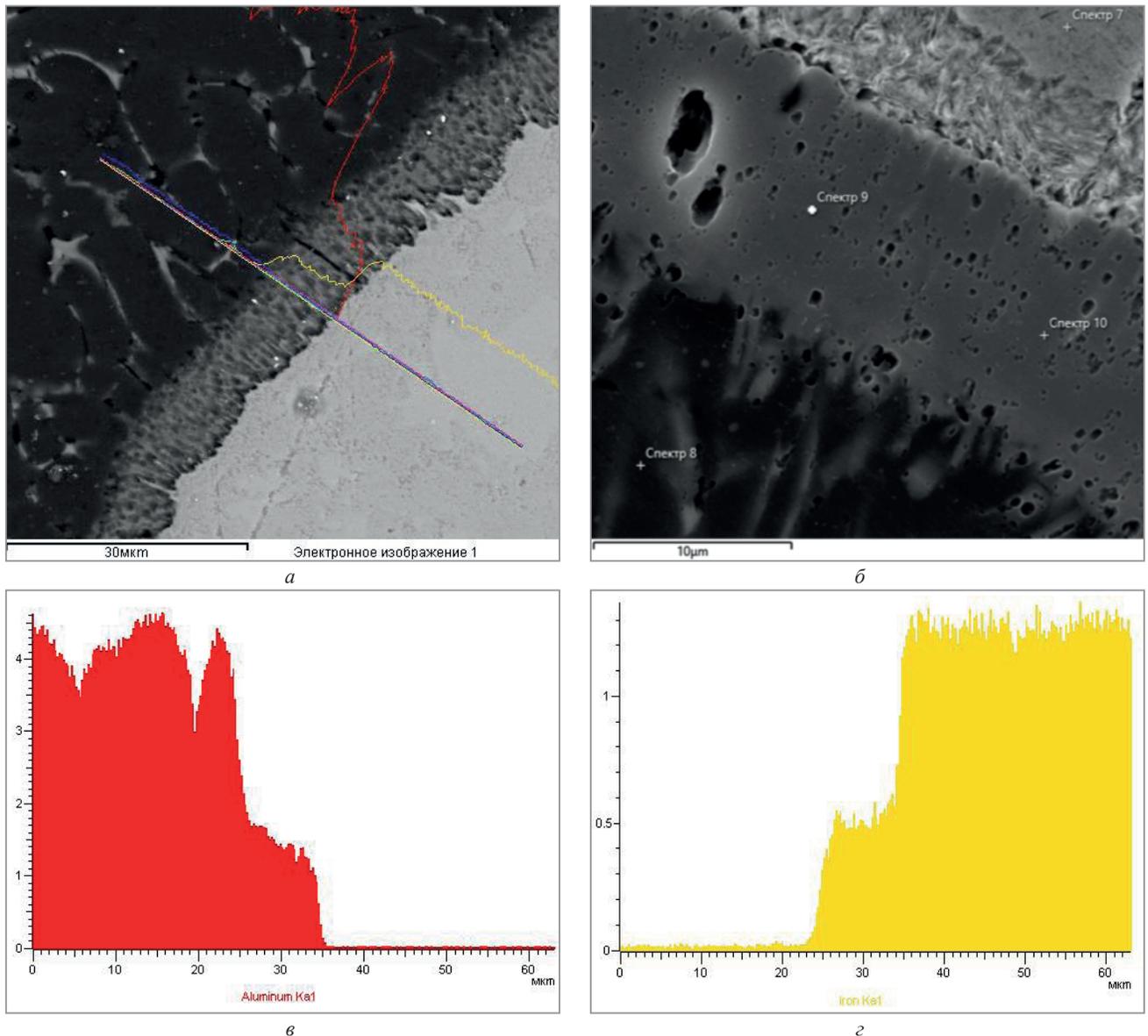


Рис. 4. Электронное изображение микроструктуры (а, б) и спектры рентгенофлуоресцентного излучения основных элементов (v – алюминия; z – железа) на границе раздела разнородных материалов (сталь Ст45, деформируемый сплав АК6) образцов композитов, полученных методом поперечно-клиновой прокатки

так и алюминия (алюминиевого сплава). В отдельных участках соединений на стороне материала алюминия наблюдалось скопление частиц инородного материала (стали, оксидов железа).

Результаты спектроскопического анализа слоистых композитов на основе железа и алюминия, полученных методом поперечно-клиновой прокатки, свидетельствуют о том, что дефекты расслоения разнородных материалов по границе материала могут формироваться путем агрегации на границе раздела оксидных включений, а также металлических примесей, таких, как висмут и свинец. Анализ полученных данных микроструктурного анализа исследованных образцов показал, что при совместной пластической деформации материалов на основе железа и алюминия, реализуемых при поперечно-клиновой прокатке, в зоне контакта разнородных металлов обеспечивается формирование переходной зоны соединения («сварного шва») материалов от 10 до 20 мкм, структура которой зависит от состояния поверхности соединяемых материалов и их состава. Содержание основных элементов химического состава переходной зоны границы раздела соответствует составу интерметаллических соединений типа  $Al_3Fe$ ,  $Al_5Fe_2$ .

Микроструктура слоистого композита, полученного металлургическим способом (методом погружения трехслойного пакета пластин из листовой низкоуглеродистой стали с цинковым покрытием с конструкционным зазором между пластинами 1,3 и 2,0 мм в расплав алюминия с последующим его затвердеванием и охлаждением), показана на рис. 5.

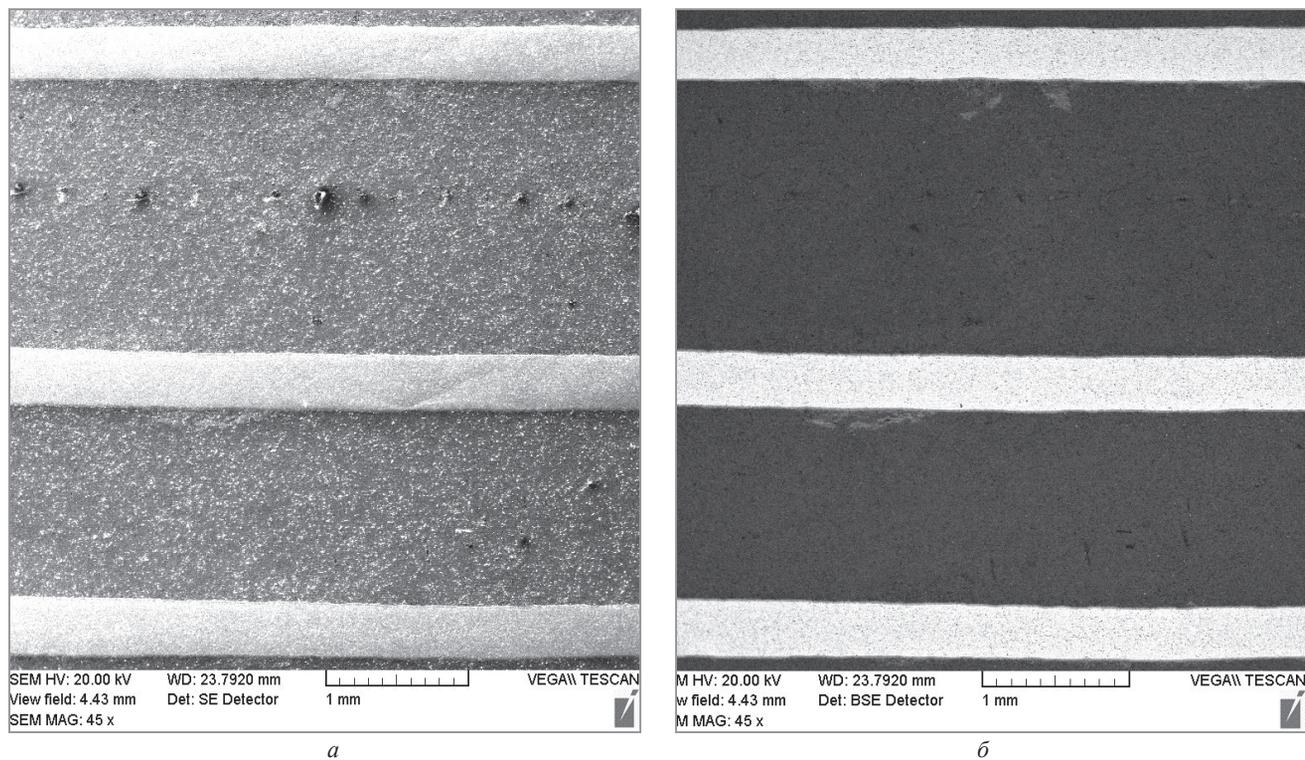


Рис. 5. Микроструктура слоистых композитов, полученных методом погружения пакетов пластин листовой низкоуглеродистой стали с цинковым покрытием в расплав алюминия с последующим его затвердеванием и охлаждением:  
*а* – изображение во вторичных электронах; *б* – изображение в отраженных электронах

Как видно из рисунка, строение границ раздела материалов «алюминий-листовая оцинкованная сталь», сформировавшихся после затвердевания расплава алюминия, характеризуется очень плотной когерентной связью разнородных слоев для всех без исключения пластин, отсутствием дефектов расслоения, несплошностей, микротрещин по границам раздела слоев.

Формирование плотных соединений разнородных материалов может объясняться высокой смачиваемостью расплавом алюминия стальных пластин с цинковым покрытием (вырезанных из оцинкованного листа) при их погружении в расплав алюминия, что подтверждается полным заполнением межпластинчатых зазоров (промежутков между пластинами) расплавом. При этом в процессе затвердевания расплава и его дальнейшего охлаждения под действием объемной усадки при фазовом переходе расплава из жидкого в твердое состояние возникают значительные сжимающие напряжения по границам раздела слоев разнородных материалов, что обеспечивает прочную межatomную связь между контактирующими разнородными материалами («алюминий-листовая сталь»).

Особенности микроструктуры металломатричного композита, полученного металлургическим способом, на границах раздела слоев материалов системы «алюминий-оцинкованная сталь-алюминий» приведены на рис. 6.

Как видно из рисунка, на границе раздела «алюминий-оцинкованная сталь» после затвердевания расплава алюминия наблюдается остаточный слой цинкового покрытия толщиной 10–15 мкм, частично сохранившийся со стороны стальной пластины после непродолжительного взаимодействия с расплавом алюминия от момента погружения до начала затвердевания.

Результаты проведенных исследований показали, что металлургический способ получения многослойного металломатричного композита на основе системы Fe-Al с использованием листовых материалов с разнородными металлическими покрытиями может обеспечить возможность получения плотных соединений листовых материалов (пластин) без применения методов совместной пластической деформации. Соединение разнородных листовых материалов на основе железа и алюминия обеспечивается погружением листовых материалов на основе железа в расплав алюминия с последующим его затвердеванием, при котором благодаря эффекту объемной усадки расплава и возникновению сжимающих напряжений по границам раздела реализуется плотное соединение между слоями алюминия и листами (пластинами) на основе железа. В процессе получения многослойного композита таким способом начальный физический контакт листовых материалов на основе железа после погружения их в расплав

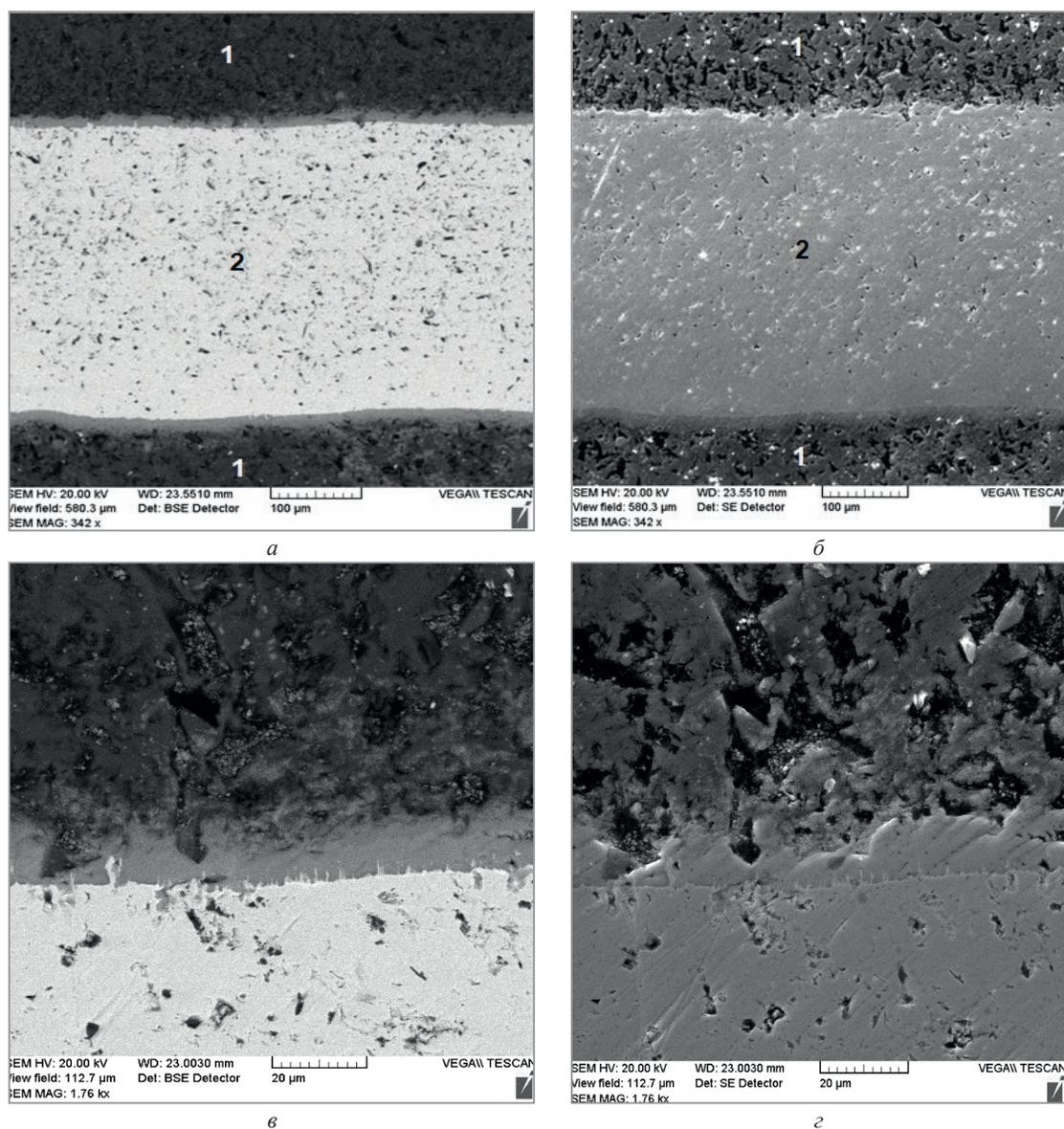


Рис. 6. Микроструктура металломатричного композита, полученного металлургическим способом, на границах раздела разнородных слоев: 1 – алюминий; 2 – оцинкованная сталь (а, в – изображение в отраженных электронах; б, г – изображение во вторичных электронах)

алюминия реализуется не с поверхностным алюмооксидным слоем, а непосредственно с алюминием, находящимся в жидком или жидко-твердофазном (гетерофазном) состоянии.

Таким образом, при реализации металлургической технологии получения многослойного композита на основе системы Fe-Al отсутствует необходимость силового разрушения оксидной пленки на поверхности алюминиевого материала (слой алюминия образуется непосредственно из расплава в условиях начального физического контакта расплава с листовым материалом на основе железа), не требуется интенсивное смешивание разнородных материалов в зоне контакта (с последующим образованием хрупких интерметаллических фаз). Указанные особенности получения многослойных композитов на основе железа и алюминия свидетельствуют о наличии очевидных преимуществ металлургической технологии.

### Выводы

1. Изучены процессы получения металломатричных слоистых композитов на основе системы Al-Fe с использованием различных методов деформирования материалов на основе железа и алюминия. Установлено, что гидроударная штамповка листовых материалов на основе железа (низкоуглеродистая сталь) и алюминия (алюминиевый сплав АМцМ) независимо от режимов деформирования обеспечивает формирование плотных соединений разнородных листовых материалов на основе железа и алюминия.

2. Установлено, что при совместной пластической деформации слоистых материалов на основе железа и алюминия, обеспечивающей возможность существенного перераспределения материала разнородных слоев деформируемой заготовки при воздействии сдвиговых нагрузок (поперечно-клиновое прокатка), в зоне контакта разнородных металлов формируется плотное соединение преимущественно без дефектов расслоения с четко выраженной переходной зоной («сварной шов») шириной от 10 до 20 мкм, структура которой зависит от состояния поверхности соединяемых материалов и их состава. Содержание основных элементов химического состава переходной зоны границы раздела соответствует составу интерметаллических соединений типа  $Al_3Fe$ ,  $Al_5Fe_2$ . Дефекты расслоения слоистых материалов на основе железа и алюминия по границе раздела разнородных слоев могут формироваться путем агрегации на границе раздела оксидных включений, а также некоторых металлических примесей, таких, как висмут и свинец.

3. Установлено, что при использовании металлургической схемы получения слоистых композитов методом погружения в расплав алюминия пакета пластин из листовой оцинкованной стали формируется плотное соединение между разнородными слоями. Механизм соединения слоев разнородных материалов на основе железа и алюминия при металлургическом методе получения металлургических композитов состоит в следующем: соединение разнородных листовых материалов обеспечивается эффектом объемной усадки при фазовом переходе расплава алюминия из жидкого состояния в твердое при его затвердевании и дальнейшем охлаждении и, как следствие, возникновением значительных сжимающих напряжений по границам раздела слоев разнородных материалов, при этом в процессе погружения пакета стальных листов в расплав алюминия обеспечиваются условия, при которых предотвращается формирование прочной поверхностной пленки оксида алюминия на поверхности алюминиевого слоя.

4. Установлены особенности строения границ раздела материалов «алюминий-листовая оцинкованная сталь», сформировавшихся после погружения в расплав алюминия с последующим его затвердеванием пакета пластин из листовой стали с цинковым покрытием с малым межпластинчатым зазором от 1,3 до 2,0 мм. Границы раздела материалов «алюминий-листовая оцинкованная сталь» характеризуются плотной связью разнородных слоев и отсутствием дефектов (усадочных, расслоения, несплошностей, микротрещин) в зоне контакта материалов.

*Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, проект T20KI-023 «Исследование структурных характеристик многослойных композитов в системе Fe-Al».*

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Mohammad Nejad Fard N.** Accumulative Roll Bonding of Aluminum/Stainless Steel Sheets / Nejad Fard N. Mohammad, H. Mirzadeh, M. Rezayat, J.M. Cabrera // J. Ultrafine Grained Nanostruct. Mater. 2017. Vol. 50 (1). P. 1–5.
2. **Tang, C.** Surface Treatment with the Cold Roll Bonding Process for an Aluminum Alloy and Mild Steel / C. Tang, Z. Liu, D. Zhou, S. Wu // Strength of Materials. 2015. Vol. 47 (1). P. 150–155.
3. **Wang Chunyang.** Effect of the steel sheet surface hardening state on interfacial bonding strength of embedded aluminum–steel composite sheet produced by cold roll bonding process / Chunyang Wang, Yanbin Jiang, Jianxin Xie [et al.] // Materials Science and Engineering: A. 2016. Vol. 652. P. 51–58.
4. **Maleki, H.** Analysis of Bonding Behavior and Critical Reduction of Two-Layer Strips in Clad Cold Rolling Process / H. Maleki, S. Bagherzadeh, B. Mollaei-Dariani, K. Abrinia // Journal of Materials Engineering and Performance. 2013. Vol. 22 (4). – P. 917–925.
5. **Akramifard, H. R.** Cladding of aluminum on AISI 304L stainless steel by cold roll bonding: Mechanism, microstructure, and mechanical properties / H. R. Akramifard, H. Mirzadeh, M. H. Parsa // Materials Science and Engineering: A. 2014. Vol. 613. P. 232–239.
6. **Yang, X.** Interfacial bonding mechanism of aluminium and steel composites / Xian Yang, Hao Weng, Chao-lan Tang // Advanced Composites Letters. – 2018. – Vol. 27, Iss. 2. – PP.71–76.
7. **Gurevich, L.** Investigation on the contact hardening of Al/Steel laminated composites with soft interlayers / L. Gurevich, Y. Trykov, D. Pronichev [et al.] // WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics. 2014. Vol. 9. P. 275–281.
8. **Рафальский, И. В.** Металломатричные слоистые композиты на основе железа и алюминия: обзор процессов получения / И. В. Рафальский, П. Е. Лущик, Ф. И. Рудницкий // Металлургия. Минск: БНТУ, 2020. Вып. 41. Ч. 2. С. 28–40.
9. **Buchner, M.** Investigation of different parameters on roll bonding quality of aluminium and steel sheets / M. Buchner, B. Buchner, V. Buchmayr [et al.] // International Journal of Material Forming. 2008. Vol. 1(1). P. 1279–1282.
10. **Рябов, В. Р.** Применение биметаллических и армированных сталеалюминиевых соединений. М.: Металлургия, 1975. 287 с.
11. Патент РФ 2435 671 С1. Способ получения слоистых композиционных материалов сталь-алюминий / А. И. Ковтунов, Т. В. Чермашенцева, С. В. Мямин, 2011.
12. Патент РФ 2437 770 С1. Способ получения слоистых композиционных материалов сталь-алюминий / А. И. Ковтунов, Т. В. Чермашенцева, С. В. Мямин, Ю. Ю. Хохлов, 2011.

## REFERENCES

1. **Mohammad Nejad Fard N., Mirzadeh H., Rezayat M., Cabrera J.M.** Accumulative Roll Bonding of Aluminum/Stainless Steel Sheets. *J. Ultrafine Grained Nanostruct. Mater*, 201, vol. 50 (1), pp. 1–5.
2. **Tang C., Z. Liu, D. Zhou, S. Wu.** Surface Treatment with the Cold Roll Bonding Process for an Aluminum Alloy and Mild Steel. *Strength of Materials*, 2015, vol. 47 (1), pp. 150–155.
3. **Chunyang Wang, Yanbin Jiang, Jianxin Xie.** Effect of the steel sheet surface hardening state on interfacial bonding strength of embedded aluminum–steel composite sheet produced by cold roll bonding process. *Materials Science and Engineering: A*, 2016, vol. 652, pp. 51–58.
4. **Maleki H., Bagherzadeh S., Mollaie-Dariani B., Abrinia K.** Analysis of Bonding Behavior and Critical Reduction of Two-Layer Strips in Clad Cold Rolling Process. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 2013, vol. 22 (4), pp. 917–925.
5. **Akramifard H.R., Mirzadeh H., Parsa M.H.** Cladding of aluminum on AISI 304L stainless steel by cold roll bonding: Mechanism, microstructure, and mechanical properties. *Materials Science and Engineering: A*, 2014, vol. 613, pp. 232–239.
6. **Yang X., Weng Hao, Tang Chao-lan.** Interfacial bonding mechanism of aluminium and steel composites. *Advanced Composites Letters*, 2018, Vol. 27, Iss. 2, pp. 71–76.
7. **Gurevich L., Trykov Y., Pronichev D.** Investigation on the contact hardening of Al/Steel laminated composites with soft interlayers. *WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics*, 2014, vol. 9, pp. 275–281.
8. **Rafalski I.V., Lushchik P.E., Rudnitski F.I.** Metallomatrixnye sloistye kompozity na osnove zheleza i alyuminiya: obzor processov polucheniya [Metal-matrix layered iron-aluminum-based composites: an overview of production processes]. *Metallurgiya = Metallurgy*, Minsk, BNTU Publ., 2020, vyp. 41, pp. 28–40.
9. **Buchner M., Buchner B., Buchmayr B.** Investigation of different parameters on roll bonding quality of aluminium and steel sheets. *International Journal of Material Forming*, 2008, vol. 1(1), pp. 1279–1282.
10. **Ryabov V.R.** *Primenenie bimetallicheskih i armirovannyh stalealyuminiyevykh soedineniy* [Application of bimetallic and reinforced steel-aluminum joints]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1975, 287 p.
11. **Kovtunov A.I., e. a.** *Sposob polucheniya sloistyh kompozitsyonnykh materialov stal-alyuminiy* [Method for producing layered steel-aluminum composite materials]. Patent RU, no. 2435 671 C1, 2011.
12. **Kovtunov A.I., e. a.** *Sposob polucheniya sloistyh kompozitsyonnykh materialov stal-alyuminiy* [Method for producing layered steel-aluminum composite materials]. Patent RU, no. 2437 770 C1, 2011.



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-106-111>  
УДК 621.74

Поступила 22.07.2021  
Received 22.07.2021

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО, ХИМИЧЕСКОГО И ФАЗОВОГО СОСТАВОВ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ГОРЯЧЕГО ЦИНКОВАНИЯ

Н. И. УРБАНОВИЧ, К. Э. БАРАНОВСКИЙ, Е. В. РОЗЕНБЕРГ, В. Г. ДАШКЕВИЧ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65.

E-mail: urbanovichbntu@tut.by, baranosky\_metolit@tut.by, erozenberg@bntu.by, vladimir\_dvl@tut.by  
В. Г. ЛУГИН, Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Беларусь, ул. Свердлова, 13А

В статье рассмотрены отходы, образующиеся в процессе производства горячего цинкования. Результаты исследования гранулометрического состава цинковой пыли показали, что ее гранулометрический состав в размерном диапазоне частиц менее 250 мкм, доля которого составляет 87 мас. %, соответствует фракционному составу стандартного порошкового цинка. В изгари количество частиц размером до 250 мкм составляет примерно 35 мас. %. Исследования химического и фазового составов отхода горячего цинкования – цинковой пыли позволили установить, что по содержанию цинка отход примерно соответствует порошковому цинку (ГОСТ 12601). Доля чистого цинка в пыли составляет 95 %. Химический и фазовый анализы изгари показали, что она в своем составе имеет оксиды цинка, чистый цинк и хлориды цинка. Хлориды цинка в свою очередь могут являться поставщиком ионов хлора при термодиффузионном цинковании. В связи с этим представляет интерес использовать изгарь в составе порошковой композиции в качестве активирующего и цинксодержащего компонента. Проведенные исследования отходов горячего цинкования – цинковой пыли и изгари показали перспективность их применения в качестве компонентов в насыщающих смесях при получении цинковых покрытий химико-термической обработкой. Это позволит снизить стоимость оцинкованных изделий и обеспечить рециклинг цинка в промышленный оборот.

**Ключевые слова.** Отход производства горячего цинкования, гранулометрический, химический, фазовый составы, термодиффузионное цинкование, насыщающая смесь, рециклинг цинка.

**Для цитирования.** Урбанович, Н. И. Исследование гранулометрического, химического и фазового составов отходов производства горячего цинкования / Н. И. Урбанович, К. Э. Барановский, Е. В. Розенберг, В. Г. Дашкевич, В. Г. Лугин // *Литье и металлургия*. 2021. № 3. С. 106–111. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-106-111>.

## INVESTIGATION OF GRANULOMETRIC, CHEMICAL AND PHASE COMPOSITIONS OF HOT-DIP GALVANIZING WASTES

N. I. URBANOVICH, K. E. BARANOVSKY, E. V. ROZENBERG, V. G. DASHKEVICH, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave.

E-mail: urbanovichbntu@tut.by, baranosky\_metolit@tut.by, erozenberg@bntu.by, vladimir\_dvl@tut.by  
V. G. LUGIN, Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus, 13A, Sverdlova str.

The article presents the waste generated during the production of hot-dip galvanizing. The results of the study of the particle size distribution of zinc dust showed that its particle size distribution in the size range of particles  $\leq 250 \mu\text{m}$ , the proportion of which is 87 wt. %, corresponds to the fractional composition of standard powder zinc. In ash, the number of particles up to 250 microns in size is approximately 35 wt. %. Studies of the chemical and phase composition of the hot-dip galvanized waste – zinc dust made it possible to establish that the zinc content of the waste approximately corresponds to powder zinc (GOST 12601). The proportion of pure zinc in dust is 95 %. Chemical and phase analyzes of the ash have shown that it contains zinc oxides, pure zinc and zinc chlorides. Zinc chlorides, in turn, can be a supplier of chlorine ions in thermal diffusion galvanizing. In this regard, it is of interest to use ash in the composition of the powder composition as an activating and zinc-containing component. The results of the analysis of the conducted studies of hot-dip galvanizing wastes – zinc dust and soot show that they are promising for their use as components in saturating mixtures in the production of zinc coatings by chemical-thermal treatment. This will reduce the cost of galvanized products and ensure the recycling of zinc into industrial circulation.

**Keywords.** Waste from hot-dip galvanizing, granulometric, chemical, phase composition, thermal diffusion galvanizing, saturating mixture, zinc recycling.

**For citation.** Urbanovich N. I., Baranovsky K. E., Rosenberg E. V., Dashkevich V. G., Lugin V. G. Investigation of granulometric, chemical and phase compositions of hot-dip galvanizing wastes. *Foundry production and metallurgy*, 2021, no. 3, pp. 106–111. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-106-111>.

Цинкование занимает одно из ведущих мест по объему и номенклатуре защищаемых от коррозии изделий. Существует ряд методов нанесения антикоррозионных цинковых покрытий на стальные изделия, например, холодное, горячее, гальваническое, термодиффузионное цинкование и др. Известно [1,2], что из цинковых покрытий наибольшим защитным эффектом обладает покрытие, полученное термодиффузионным методом. Следует отметить, что данное покрытие в отличие от других цинковых покрытий характеризуется наиболее высокой твердостью, которая во многом определяет такие важные эксплуатационные показатели, как износостойкость, пластичность, прочность и, в конечном итоге, срок службы покрытия, особенно на изделиях с резьбовой поверхностью (болты, гайки и др.). Классический процесс термодиффузионного цинкования с использованием порошковых смесей на основе цинка предполагает применение в насыщающих смесях порошкового цинка (ГОСТ 12601-76), инертного наполнителя (оксид алюминия, оксид кремния) и активатора (хлорид аммония, хлорид цинка). Следует отметить, что цинковый порошок производится в России, а также в дальнем зарубежье. Кроме того, согласно последним исследованиям ученых, уже в ближайшие десятилетия возрастающий дефицит сырьевой базы многих металлов (в том числе и цинка) приведет к резкому повышению их стоимости. В результате чего наблюдается устойчивая тенденция повышения использования лома и отходов в общем объеме цветных металлов. Необходимо также отметить, что существующие в настоящий момент технологии цинкования приводят к накоплению в больших количествах цинксодержащих отходов. Основными отходами производства горячего цинкования являются изгарь и гартцинк. Так, например, в Республике Беларусь существуют производства горячего цинкования, в частности, ОАО «Речицкий метизный завод», на котором, кроме изгари и гартцинка, образуется при цинковании труб и последующей их паровой обдувке еще и дисперсный цинксодержащий отход в виде порошка в количестве около 100 т в год. Изгари и гартцинка при этом образуется примерно 180 и 150 т в год соответственно.

В [3] проведен анализ предлагаемых способов использования данных отходов при получении цинксодержащих покрытий. Показано, что гартцинк успешно можно использовать в составах насыщающих смесей при термодиффузионном цинковании стальных изделий и получать качественные покрытия. К недостаткам авторы относят необходимость размола гартцинка. Использование же дисперсного отхода производства горячего цинкования, который образуется в результате обдувки труб перегретым паром, авторы рекомендуют в качестве дешевого заменителя дорогого порошкового цинка в составах цинкнаполненных красок. С целью возможности использования отходов горячего цинкования – цинковой пыли и изгари в составе порошковой композиции для термодиффузионного цинкования вместо порошкового цинка и таким образом создания эффективных импортозамещающих насыщающих порошковых смесей необходимо провести гранулометрический, химический и фазовый анализы данных отходов.

На ОАО «Речицкий метизный завод» взяты пробы отходов горячего цинкования – цинковой пыли и изгари цинка, внешний вид которых показан на рис. 1. Цинковая пыль представляет собой дисперсный



Рис. 1. Внешний вид отходов горячего цинкования: *а* – изгарь цинка; *б* – цинковая пыль

отход с частицами в основном круглой формы и размерами от 3 до 1000 мкм и выше. Изгарь – это вещество серого цвета, состоящее из частиц разной фракции. Следует отметить, что часть крупных кусков рассыпается при легком к ним соприкосновении на более мелкие кусочки, а часть – после очистки металлической щеткой представляет собой крупные частицы цинка.

С целью дробления крупных частиц и получения частиц более мелкой фракции осуществляли размол изгари в количестве 3 кг в шаровой мельнице в течение 50 мин. В качестве мелющих тел использовали стальные закаленные шары. После размола изгарь просеивали через ряд сит, гранулометрический состав которой представлен на рис. 2.

Исследование гранулометрического состава отхода горячего цинкования – цинковой пыли осуществляли ситовым методом по ГОСТ 18318-94 (рис. 3).

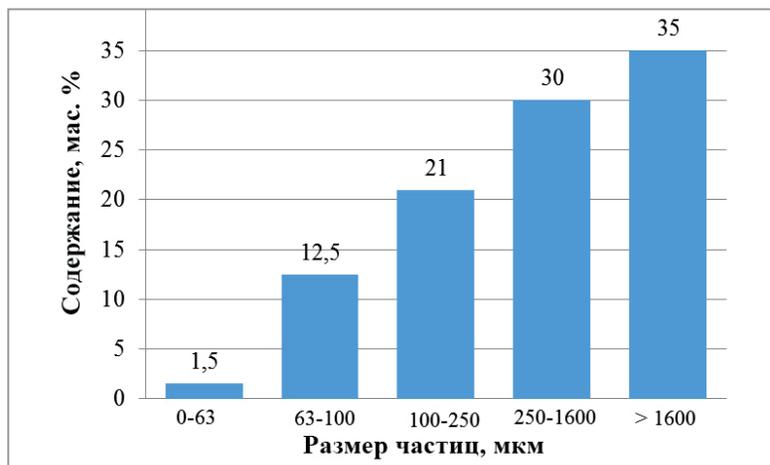


Рис. 2. Гранулометрический состав изгари цинка

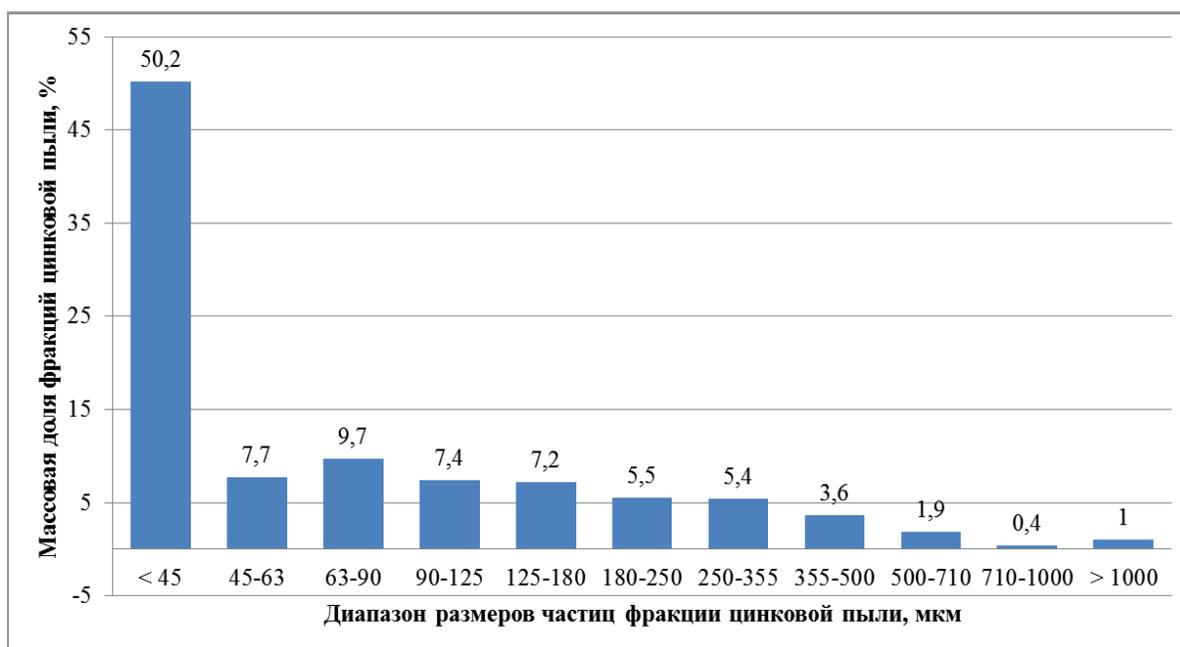


Рис. 3. Гранулометрический состав цинковой пыли

Следует отметить, что в стандартных смесях, как правило, применяют порошковый цинк по ГОСТ 12601-76, который имеет приблизительно следующий гранулометрический состав: фракции менее 63 мкм – не менее 50,0 мас.%; фракция 63–160 мкм – не более 40,0; фракция более 160 мкм – не более 10,0 мас.%. Как показал ситовый анализ цинковой пыли, ее гранулометрический состав в размерном диапазоне частиц  $\leq 250$  мкм, который составляет 87 мас.%, соответствует фракционному составу стандартного порошкового цинка. Частицы цинковой пыли, имеющие размер  $> 250$  мкм, рекомендуется в насыщающих смесях не использовать. В изгари количество частиц размером до 250 мкм составляет примерно 35 мас.%

На рис. 4 показан внешний вид цинковой пыли размером частиц  $> 250$  и  $\leq 250$  мкм, а также изгари размером частиц  $\leq 250$  мкм.

Определение химического состава отходов осуществляли методом сканирующей электронной микроскопии с электронно-зондовым химическим анализом (сканирующий электронный микроскоп JSM-5610LV с системой химического анализа JED-2201, JEOL, Япония) по площади образца. Результаты химического состава отхода горячего цинкования цинковой пыли представлены на рис. 5, а изгари – на рис. 6.

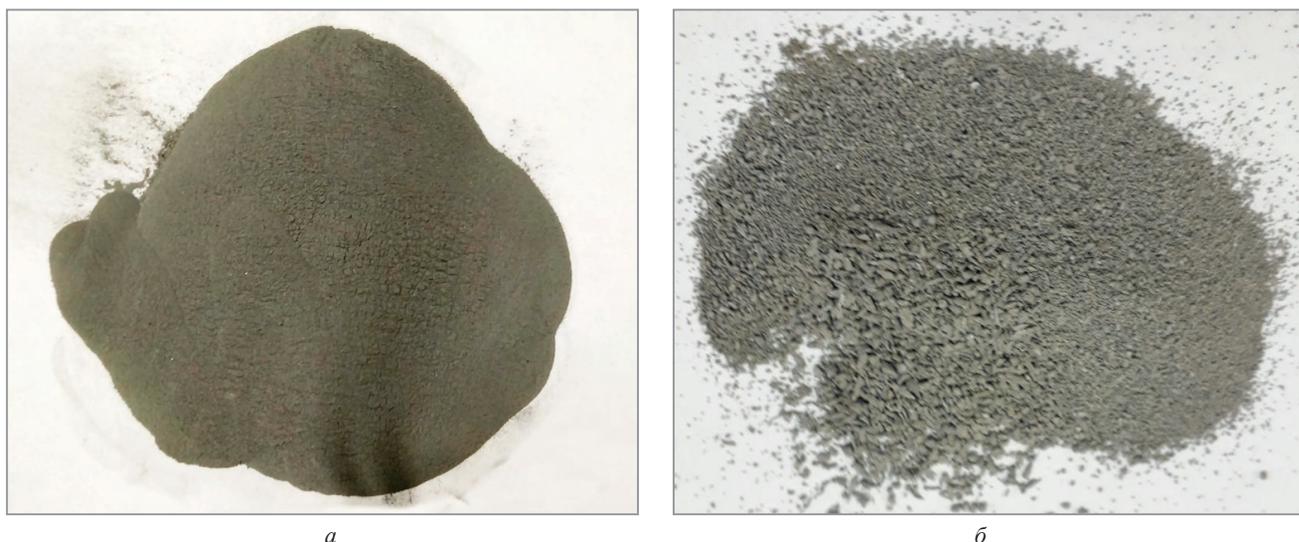
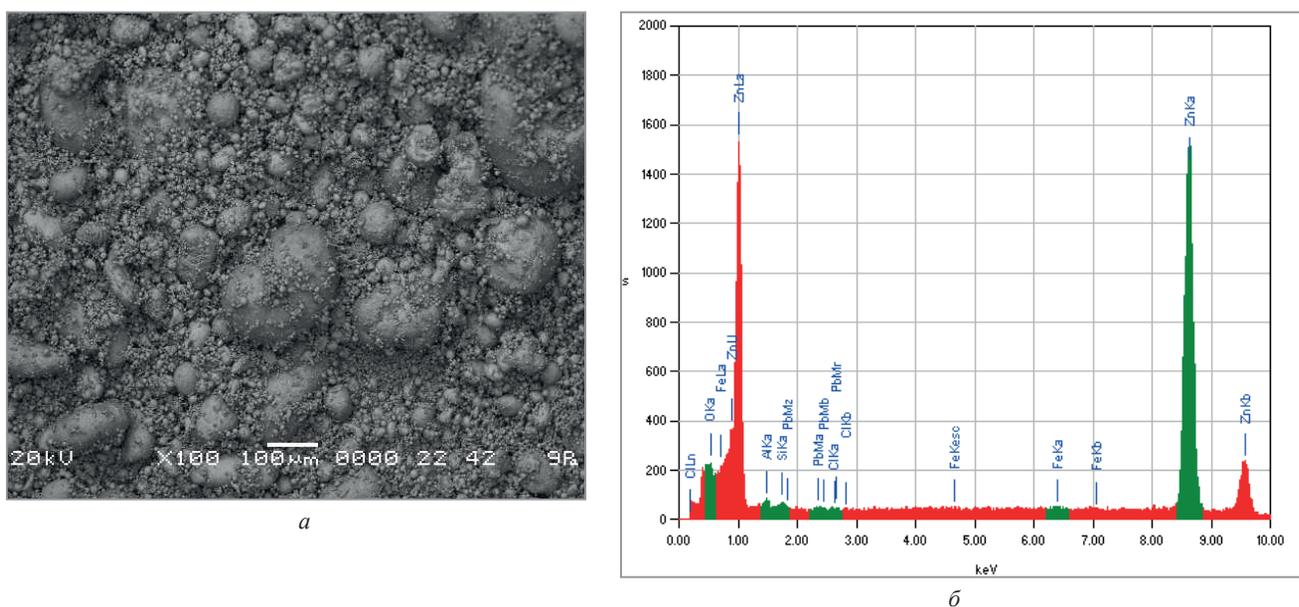


Рис. 4. Внешний вид цинковой пыли размером частиц  $\leq 250$  мкм (а); изгари размером частиц  $\leq 250$  мкм (б)

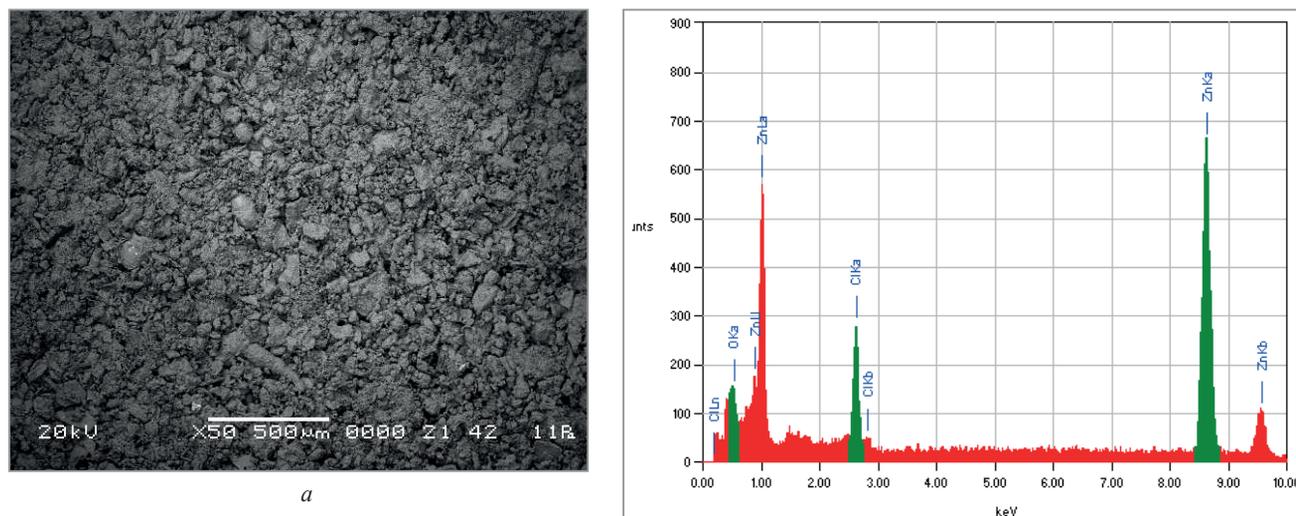


Element	(keV)	mass%	Error%	At%	Compound	mass% K
O K *	0.525	0.81	0.05	3.20		0.1555
Al K *	1.486	0.64	0.03	1.51		0.0334
Si K	1.739	0.18	0.02	0.40		0.0128
Cl K *	2.621	0.08	0.02	0.15		0.0122
Fe K *	6.398	0.19	0.03	0.22		0.0378
Zn K	8.630	97.47	0.08	94.33		17.1036
Pb M *	2.342	0.62	0.08	0.19		0.0699
Total		100.00		100.00		

Рис. 5. Химический состав отхода горячего цинкования – цинковой пыли: а – область исследования химического состава по площади; б – спектр качественного состава; в – результаты химического состава

Из рисунков видно, что отход горячего цинкования – цинковая пыль содержит цинка ~ 98 мас.%, который является основным элементом, кислорода – ~ 0,80 мас.%, а также свинца и алюминия ~ по 0,6 мас.% каждого. Химический анализ изгари показал, что содержание в ней таких элементов, как цинка составляет ~ 83 мас.%, хлора – ~ 6 мас.%, кислорода – ~ 10 мас.%.

С целью изучения фазового состава цинковой пыли и изгари рентгеноструктурный анализ проводили на дифрактометре «Дрон-3» с использованием  $CoK_{\alpha}$ -излучения. Анализировали линии в угловом интервале  $2\theta=16-1200$ . Съемку осуществляли в пошаговом режиме (регистрация по точкам)



Element	(keV)	mass %	Error %
O K *	0.525	10.22	0.07
Cl K	2.621	6.00	0.02
Zn K	8.630	83.77	0.10
Total		100.00	

6

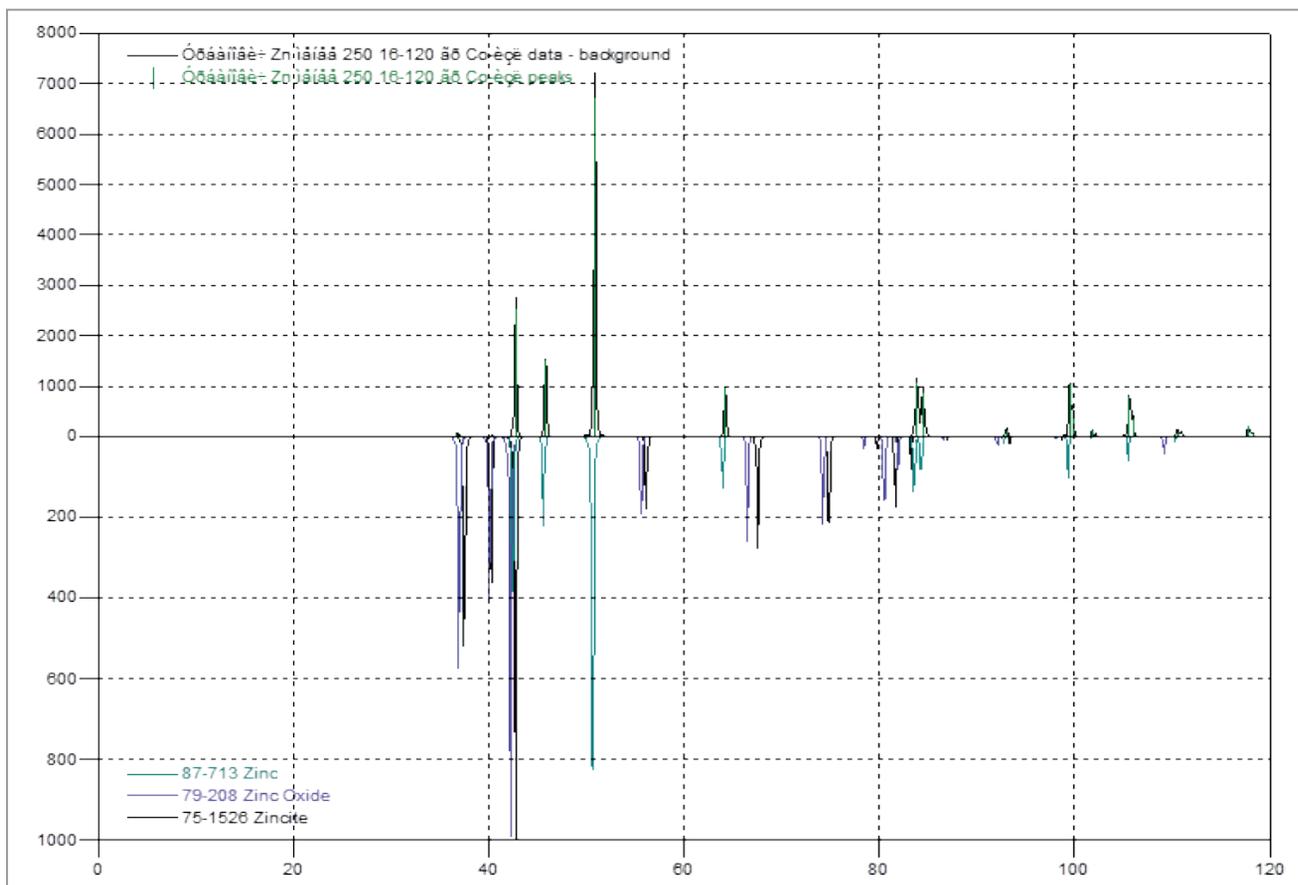
Рис. 6. Химический состав отхода горячего цинкования – изгари: *a* – область исследования химического состава по площади; *б* – спектр качественного состава; *в* – результаты химического состава

с использованием компьютерной программы difwin1. Результаты рентгеноструктурного анализа цинковой пыли представлены на рис. 7.

На рис. 7, *a* показана дифрактограмма, для расшифровки которой использовали компьютерную программу «Кристаллографика», имеющую встроенную базу данных PDF-2. На рис. 7, *б* приведены результаты рентгеноструктурного анализа. Установлено, что цинковая пыль имеет в своем составе следующие фазы: два соединения цинка с кислородом в виде  $ZnO$ , которые между собой отличаются набором межплоскостных расстояний, и чистый цинк, доля которого составляет ориентировочно 95%.

Рентгеноструктурный анализ разных партий изгари показал, что в ней присутствуют такие фазы, как хлорид цинка, оксид цинка и цинк:  $ZnCl_2$  – ~15–20 мас. %,  $ZnO$  – ~40–50, а доля чистого цинка составляет ~30–45 мас. %. Так как изгарь в своем составе содержит хлориды цинка, они могут являться поставщиком ионов хлора при термодиффузионном цинковании, поэтому представляет интерес использовать изгарь в составе порошковой композиции в качестве цинксодержащего и активирующего компонента.

Таким образом, проведенные исследования гранулометрического состава цинковой пыли показали, что ее гранулометрический состав в размерном диапазоне частиц  $\leq 250$  мкм, доля которого составляет 87 мас. %, соответствует фракционному составу стандартного порошкового цинка. В изгари количество частиц размером до 250 мкм составляет примерно 35 мас. %. Исследования химического и фазового составов отхода горячего цинкования – цинковой пыли позволили установить, что по содержанию цинка отход примерно соответствует порошковому цинку (ГОСТ 12601). Доля чистого цинка в пыли составляет 95%. Химический и фазовый анализы изгари показали, что она в своем составе имеет оксиды цинка, чистый цинк и хлориды цинка. Хлориды цинка в свою очередь могут являться поставщиком ионов хлора при термодиффузионном цинковании. В связи с этим представляет интерес использовать изгарь в составе порошковой композиции в качестве активирующего и цинксодержащего компонента. Следует отметить, что результаты анализа проведенных исследований гранулометрического, химического и фазового составов отходов горячего цинкования – цинковой пыли и изгари показали перспективность применения данных отходов в качестве компонентов в насыщающих смесях при получении цинковых покрытий химико-термической обработкой. Это позволит снизить стоимость оцинкованных изделий и обеспечить рециклинг цинка в промышленный оборот.



a

A Zinc	B Zinc Oxide	C Zincite
Formula Zn	Formula Zn O	Formula Zn O
Pdf Number – 87–713	Pdf Number – 79–208	Pdf Number – 75–1526
Concentration – 0.95176	Concentration – 0.00504188	Concentration – 0.0431978

б

Рис. 7. Результаты рентгеноструктурного анализа:  
 а – дифрактограмма цинковой пыли; б – расшифровка буквенного обозначения фаз

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Урбанович, Н.И.** Влияние содержания насыщающего компонента в системе гартцинк – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на толщину покрытия, изменение размеров и массы образцов при термодиффузионном цинковании / Н.И. Урбанович, О.С. Комаров, А.И. Лецко, В.И. Волосатиков // Литье и металлургия. 2011. № 2. С. 54–56.
2. **Проскуркин, Е.В.** Защитные цинковые покрытия для жестких коррозионно-эрозионных условий эксплуатации / Е.В. Проскуркин // Теория «Нефтегаз». 2007. № 9. С. 42–51.
3. **Урбанович, Н.И.** Анализ способов получения цинксодержащих покрытий с применением отходов производства горячего цинкования / Н.И. Урбанович, К.Э. Барановский, Е.В. Розенберг, В.А. Ашуйко, В.Г. Матыс, В.Ф. Волосюк, А.Ф. Печерский // Литье и металлургия. 2021. № 2. С. 87–93.

### REFERENCES

1. **Urbanovich N.I., Komarov O.S., Letsko A.I., Volosatikov V.I.** Vlijanie soderzhanija nasyshhajushhego komponenta v sisteme gartcink – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> na tolshhinu pokrytija, izmenenie razmerov i massy obrazcov pri termodiffuzionnom cinkovanii [Influence of the saturating component content in the hartzinc – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> system on the coating thickness, change in the size and weight of samples during thermal diffusion zinc plating]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*. 2011, no. 2, pp. 54–56.
2. **Proskurkin E. V.** Zashhitnye cinkovye pokrytija dlja zhestkih korrozionno – jerrozionnyh uslovij jekspluatacii [Protective zinc coatings for harsh corrosion and erosion operating conditions]. *Teorija «Neftegaz» = Theory “Oil and Gas”*, 2007, no. 9, pp. 42–51.
3. **Urbanovich N.I., Baranovsky K. E., Rosenberg E. V., Ashuiko V.A., Matys V.G., Volosyuk, A. F., Pechersky A. F.** Analiz sposobov poluchenija cinksoderzhashhih pokrytij s primeneniem othodov proizvodstva gorjachego cinkovanija [Analysis of methods for obtaining zinc-containing coatings with the use of wastes from hot-dip galvanizing]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2021, no. 2, pp. 87–93.



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-112-117>  
УДК 621.74:658.382

Поступила 02.08.2021  
Received 02.08.2021

## МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ТРУДА В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

А. М. ЛАЗАРЕНКОВ, Т. П. КОТ, Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. Тел. +375 29 669–90–98

*Приведена методика комплексной оценки условий труда работающих в литейных цехах. Определены основные производственные факторы условий труда и введен относительный комплексный показатель, учитывающий рассматриваемые факторы условий труда. Определены поправочные коэффициенты для каждого производственного фактора с учетом их воздействия на организм человека.*

*Получено уравнение для расчета комплексного показателя, которое позволило установить классы литейных цехов (участков) по условиям труда. Приведены результаты расчетов комплексного показателя по шуму и суммарно по всем производственным факторам в литейных цехах с различным характером производства.*

**Ключевые слова.** Условия труда, комплексная оценка, литейный цех, показатель, класс.

**Для цитирования.** Лазаренков, А. М. Методика комплексной оценки условий труда в литейном производстве / А. М. Лазаренков, Т. П. Кот // Литьеи металлургия. 2021. №3. С. 112–117. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-112-117>.

## THE METHOD OF COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF WORKING CONDITIONS IN THE FOUNDRY PRODUCTION

A. M. LAZARENKOV, T. P. KOT, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65,  
Nezavisimosti Ave. Tel. +375 29 669–90–98

*The method of a comprehensive assessment of the working conditions of workers in foundries is given. The main production factors of working conditions are determined and a relative complex indicator is introduced that takes into account the considered factors of working conditions. Correction coefficients for each production factor are determined, taking into account their impact on the human body.*

*The equation for calculating the complex indicator was obtained, which made it possible to establish classes of foundries (sections) according to working conditions. The results of calculations of the complex indicator for noise and total for all production factors in foundries with different production patterns are presented.*

**Keywords.** Working conditions, comprehensive assessment, foundry, indicator, class.

**For citation.** Lazarenkov A. M., Kot T. P. The method of comprehensive assessment of working conditions in the foundry production. Foundry production and metallurgy, 2021, no. 3, pp. 112–117. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-112-117>.

Для осуществления комплексной оценки условий труда необходимо рассматривать совокупность всех факторов производственной среды литейных цехов, что весьма затруднительно выполнить практически, так как приходится оперировать 5–6 параметрами условий труда (получается громоздкая, трудно-воспроизводимая картина). Поэтому для оценки и сравнения условий труда был введен относительный комплексный показатель  $K$ , который представляет собой сумму отношений значений факторов производственной среды на рабочих местах к их допустимым значениям:

$$K = \sum_{i=1}^n \frac{C_{\Phi i}}{C_{Hi}}, \quad (1)$$

где  $C_{\Phi i}$  – фактическое значение  $i$ -го фактора производственной среды;  $C_{Hi}$  – нормативное значение  $i$ -го фактора производственной среды;  $n$  – количество учитываемых факторов.

В качестве основных параметров условий труда литейщиков были приняты уровни шума и вибрации, содержание пыли и вредных веществ в воздухе рабочей зоны, температура воздушной среды и интенсивность теплового излучения. Тогда уравнение (1) можно записать в следующем виде:

$$K = C_{\Phi ш} / C_{нш} + C_{\Phi в} / C_{нв} + C_{\Phi п} / C_{нп} + C_{\Phi г} / C_{нг} + C_{\Phi т} / C_{нт} + C_{\Phi и} / C_{ни}, \quad (2)$$

где  $C_{фш}$  и  $C_{нш}$  – фактические и нормативные значения уровней шума на рабочих местах, аналогично значения вибрации, пыли, вредных веществ, температуры и интенсивности теплового излучения. Учитывая, что при протекании технологических процессов выделяется одновременно несколько веществ, составляющая  $C_{фг}/C_{нг}$  будет иметь вид:

$$C_{фг}/C_{нг} = \sum_{j=1}^m C_{фгj}/C_{нгj}, \quad (3)$$

где  $C_{фгj}$  и  $C_{нгj}$  – фактические и нормативные значения концентраций  $j$ -го вредного вещества (фенол, формальдегид, оксид углерода и др.);  $m$  – количество рассматриваемых вредных веществ в воздухе рабочих зон.

Для получения более объективной оценки условий труда с помощью показателя  $K$  необходимо осуществлять определение показателя по каждому фактору на всех рабочих местах участков и затем вычислять средние величины из расчета на одно условное рабочее место. Это позволяет учесть влияние применяемых технологических процессов, производственного оборудования, характера производства и других особенностей цеха на условия труда работающих.

Тогда с учетом приведенного выше уравнение (1) запишется в следующем виде:

$$K = \frac{1}{tp} \sum_{S=1}^t \sum_{\gamma=1}^p \sum_{i=1}^n \frac{C_{\Phi i}}{C_{Hi}}, \quad (4)$$

где  $n$  – количество факторов на  $i$ -м рабочем месте;  $p$  – количество рабочих мест на  $\gamma$ -м участке цеха;  $t$  – количество участков в  $S$ -м литейном цехе.

Однако при определении показателя по уравнению (4) не учитываются особенности влияния различных производственных факторов на организм работающих. Поэтому при расчетах значений  $C_{ф}/C_{н}$  по рабочим местам различных участков цехов следует полученные величины умножать на поправочные коэффициенты влияния каждого фактора производственной среды на работающих.

При установлении поправочного коэффициента влияния тепловых излучений  $K_{пг}$  исходили из степени переносимости человеком тепловой радиации [1, 2], который в зависимости от интенсивности теплового облучения приняли равным:

- $K_{пг} = 0$  – при тепловом облучении в пределах допустимой величины, равной 140 Вт/м<sup>2</sup>;
- $K_{пг} = 0,2$  – при 141–560 Вт/м<sup>2</sup>, которую человек переносит неопределенно долго;
- $K_{пг} = 0,4$  – при 561–1400 Вт/м<sup>2</sup>, которую человек переносит в течение 2,5–6 мин;
- $K_{пг} = 0,7$  – при 1401–2800 Вт/м<sup>2</sup>, которую человек переносит в течение 30–60 с;
- $K_{пг} = 1,0$  – при более 2800 Вт/м<sup>2</sup>, которую человек переносит в течение 3–30 с.

При оценке влияния шума на организм человека исходили из величины уровней шума на рабочих местах, учитываемых по превышению фактических уровней над нормативными и выраженными изменением громкости звука, продолжительности шумового стажа и вероятности нарушения слуха [2–4]. Исходя из изложенного выше и данных по вероятности нарушения слуха при разных уровнях шума и стаже работы, значения поправочного коэффициента влияния шума на работающих  $K_{пш}$  приняли равными:

- $K_{пш} = 0$  – при уровне звука в пределах допустимого 80 дБ;
- $K_{пш} = 0,1$  – при уровне звука в пределах 81–85 дБ;
- $K_{пш} = 0,3$  – при уровне звука в пределах 86–90 дБ;
- $K_{пш} = 0,5$  – при уровне звука в пределах 91–100 дБ;
- $K_{пш} = 0,8$  – при уровне звука в пределах 101–110 дБ;
- $K_{пш} = 1,0$  – при уровне звука более 110 дБ.

Величину поправочного коэффициента влияния вибрации на работающих  $K_{пв}$  определяли исходя из величины эквивалентного уровня вибрации, стажа работы и вероятности развития виброболезни. Проведенные нами исследования показали, что литейное оборудование создает повышенные уровни вибрации, превышающие допустимые при общей вибрации в среднем до 4–6 дБ, при локальной – до 14–16 дБ, а виброболезнь фиксируется у литейщиков при стаже работы 10–15 лет. Исходя из этих данных, вероятность развития виброболезни по приведенной в работах [3–5] зависимости равна при общей вибрации 0,06 дБ, а при локальной – 0,15 дБ. Однако, учитывая, что общая вибрация на рабочих местах литейных цехов незначительно превышает нормативную величину и только на отдельных рабочих местах, а также тот факт, что по продолжительности действия она составляет не более 0,3–0,4 рабочего времени, окончательно коэффициент влияния общей вибрации на работающих  $K_{пво}$  равен 0,2. В то же время для

локальной вибрации следует выделить несколько интервалов, которые принимали согласно разработанной нами классификации признаков оценки условий труда. Тогда коэффициент влияния локальной вибрации на работающих  $K_{пвл}$  в интервале допустимых значений (76 дБ) вибрации равен 0, в интервале 77–80 дБ – 0,2, в интервале 81–86 дБ – 0,6, при вибрации более 86 дБ – 1,0.

Предельно допустимая концентрация пыли в зависимости от содержания в ней кремнезема составляет: 1 мг/м<sup>3</sup> при содержании в ней SiO<sub>2</sub> более 70%; 2 мг/м<sup>3</sup> – от 10 до 70%; 4 мг/м<sup>3</sup> – от 2 до 10%. Независимо от содержания кремнезема пыль относится к 3-му классу опасности и считается веществом фиброгенного действия. При определении поправочного коэффициента влияния пыли на организм работающих исходили из содержания в пыли кремнезема, ПДК, класса опасности, дисперсности пыли и особенностей действия ее на организм [2]. Исходя из изложенного выше, принимаем следующие значения поправочного коэффициента влияния пыли на работающих  $K_{пп}$ :

$K_{пп} = 0$  – при концентрации пыли в пределах допустимой;

$K_{пп} = 0,4$  – при содержании кремнезема в пыли от 2 до 10% и содержании частиц до 5 мкм до 30%;

$K_{пп} = 0,7$  – при содержании кремнезема в пыли от 10 до 70% и содержании частиц до 5 мкм от 30 до 60%;

$K_{пп} = 1,0$  – при содержании кремнезема в пыли более 70% и содержании частиц до 5 мкм более 60%.

Значения поправочного коэффициента влияния вредных веществ на организм определяли исходя из класса опасности и токсикологической характеристики вредных веществ [2]. Для веществ 1-го класса опасности (бензопирен, свинец, никель и его соединения), которые приводят к отравлению организма и воздействию на многие системы человека, был установлен коэффициент  $K_{пвв}$ , равный 1,0; 2-го класса опасности (фенол, формальдегид, акролеин, бензол, марганец и др.), которые сильно воздействуют на нервную, сердечно-сосудистую системы, раздражают кожу и слизистые оболочки – 0,7; 3-го класса опасности (ангидрид сернистый, ксилол, толуол, фурфурол, оксиды азота), воздействие которых аналогично веществам 2-го класса, однако степень и выраженность влияния отмечаются меньшие – 0,5; вещества 4-го класса опасности (аммиак, оксид углерода, ацетон и др.) считаются малоопасными, однако при высоких концентрациях их действие усиливается – 0,3.

Значения поправочного коэффициента влияния температуры воздушной среды определяли исходя из превышения допустимой для основных выполняемых в литейных цехах работ по энергозатратам категорий Пб и Пв:

$K_{пт} = 0$  – при соответствии допустимым значениям;

$K_{пт} = 0,2$  – при превышении допустимых значений на 1–5 °С;

$K_{пт} = 0,6$  – при превышении допустимых значений на 6–10 °С;

$K_{пт} = 1,0$  – при превышении допустимых значений более 10 °С.

Кроме того, следует отметить, что различные факторы воздействуют на работающих не полную рабочую смену. Поэтому при определении значений  $K$  необходимо учитывать и временной фактор. Тогда с учетом изложенного выше уравнение (4) принимает следующий вид:

$$K = \frac{1}{tp} \sum_{S=1}^t \sum_{\gamma=1}^p \sum_{i=1}^n \frac{C_{\Phi i}}{C_{Hi}} \cdot K_{Pi} \cdot K_{\tau i},$$

где  $K_{Pi}$  – поправочный коэффициент влияния  $i$ -го фактора производственной среды на работающих;  $K_{\tau i}$  – коэффициент, учитывающий время воздействия  $i$ -го фактора в долях рабочей смены;  $p$  – количество рабочих мест на  $\gamma$ -м участке цеха;  $t$  – количество участков в  $S$ -м литейном цехе.

Рассчитанный таким образом относительный показатель  $K$  позволяет сравнивать условия труда в различных литейных цехах. Однако не позволяет оценить условия труда в отдельно взятом цехе. Поэтому были установлены четыре класса литейных цехов по условиям труда, которые определяются исходя из значений показателя  $K$ :

1-й класс – литейные цеха с благоприятными условиями труда, на рабочих местах которых фактические значения параметров не превышают нормативных, т. е.  $K = 0$ ;

2-й класс – литейные цеха с удовлетворительными условиями труда, на рабочих местах которых фактические значения параметров незначительно превышают допустимые величины и при которых не отмечается значительных изменений в состоянии здоровья работающих (тепловые излучения в пределах 141–560 Вт/м<sup>2</sup>, шум – превышения уровня звука до 5 дБ, вибрация – до 3 дБ, пыль – до 3 раз, вредные вещества – до 1,5 раз, температура воздуха – на 1–5 °С); значение  $K = 0,1–5,0$ ;

3-й класс – литейные цеха с неблагоприятными условиями труда, на рабочих местах которых фактические значения параметров превышают допустимые величины и при которых могут регистрироваться

случаи профессиональных заболеваний (тепловые излучения – в пределах 561–1400 Вт/м<sup>2</sup>, шум – до 15 дБ, вибрация – до 10 дБ, пыль – до 10 раз, вредные вещества – до 3 раз, температура воздуха – на 6–10 °С); значение  $K = 5,1–18$ ;

4-й класс – литейные цеха с весьма неблагоприятными условиями труда, на рабочих местах которых фактические значения параметров значительно превышают допустимые величины и при которых регистрируются случаи профессиональных заболеваний (тепловые излучения – более 1400 Вт/м<sup>2</sup>, шум – более 15 дБ, вибрация – более 10 дБ, пыль – более 10 раз, вредные вещества – более 3 раз, температура воздуха – более 10 °С); значение  $K =$  более 18.

Одним из вредных производственных факторов, определяющих условия труда в литейных цехах и неблагоприятно воздействующих на работающих, является шум, который при длительном воздействии на организм человека может привести к патологическим изменениям, а затем и профессиональному заболеванию – невриту слухового органа.

Результаты исследований шума литейных машин показали, что параметры шума основных видов оборудования смесеприготовительных, стержневых, формовочных, плавильно-заливочных, выбивных и обрубочно-очистных участков превышают допустимые значения. При этом наибольшие превышения допустимого уровня отмечаются на рабочих местах у стержневых и формовочных встряхивающих машин (на 10–18 дБА), у выбивных решеток (на 13–22 дБА), у обрубочно-очистного оборудования (на 16–24 дБА).

Шум, создаваемый основными литейными машинами, является широкополосным, звуковое поле неоднородно в связи с наличием источников шума, различных по уровню акустической мощности и характеру спектра. Шум, создаваемый оборудованием с ударным режимом работы, непостоянный, с максимальным уровнем звуковой мощности в области средних и высоких частот. Это позволяет с полным основанием говорить о значительном воздействии шума на формовщиков, выбивальщиков форм, обрубщиков и чистильщиков литья, что также подтверждается и значениями показателя  $K$  по шумовому фактору (табл. 1), полученными расчетным путем.

Таблица 1. Значения показателя  $K$  по шуму в литейных цехах с различным характером производства

Участок цеха	Значение $K$ в цехах с характером производства		
	массовым	серийным	мелкосерийным
Смесеподготовительный	0,43	0,37	0,26
Смесеприготовительный	0,61	0,54	0,34
Стержневой	0,75	0,59	0,31
Формовочный	1,83	1,39	0,93
Шихтовый	0,32	0,23	0,17
Плавильно-заливочный	1,28	1,06	0,76
Выбивной	1,87	1,66	1,31
Обрубочно-очистной	2,74	2,38	1,82
Среднее значение по цеху	1,23	1,03	0,74

На основании проведенных исследований производственных факторов на рабочих местах в литейных цехах была создана база данных, которая в дальнейшем использована для комплексной оценки условий труда по приведенной выше методике с использованием ЭВМ и программы расчета показателя  $K$ . В табл. 1 приведены значения показателя  $K$  по шуму для различных участков литейных цехов с разным характером производства, анализ которых показывает, что наиболее неблагоприятные условия труда имеют место на обрубочно-очистном, выбивном и формовочном участках. Результаты  $K$  хорошо коррелируют с данными воздействия шума на слуховой аппарат обрубщиков, выбивальщиков и формовщиков, что подтверждается данными по выявленному профессиональному заболеванию.

Однако степень этого влияния шума на работающих будет определяться и характером производства литейных цехов. Проведенный анализ результатов исследований и распределения уровней шума по участкам литейных цехов, полученных в результате расчетов по разработанной программе с использованием ЭВМ, позволил выявить некоторые особенности распределения уровней шума в зависимости от характера производства.

Так, в литейных цехах массового производства у оборудования создаются значительные шумовые зоны, охватывающие практически все места плавильно-заливочных, формовочных, выбивных и обрубочно-очистных участков и которые наблюдаются практически в течение всей рабочей смены.

Кроме того, в ряде случаев неудачное расположение литейных конвейеров создает повышенные уровни шума и на других участках. Особенности литейных цехов серийного производства является то, что, несмотря на большое число технологических процессов, меньший уровень автоматизации и механизации этих процессов позволяет выбрать более рациональное и, как правило, изолированное расположение оборудования, создающего повышенные уровни шума. Это, в свою очередь, приводит к повышенным шумам на отдельных участках или зонах, концентрирующихся непосредственно у шумного оборудования, в меньшей степени воздействуя на других работников этих участков. Кроме того, следует отметить, что в этих цехах работа оборудования происходит циклично (т.е. не постоянно, как в литейных цехах массового производства) и эквивалентные уровни шума будут иметь меньшие значения. Особенно это видно при работе литейного цеха в ступенчатом режиме. Так, в цехе среднего и крупного литья шум встряхивающих машин наблюдается только в первую смену и в течение примерно 1–1,5 часов во время изготовления необходимого количества полуформ. Выбивные решетки работают в третью смену, когда происходит только выбивка отливок из форм.

В цехах массового производства наибольшее число профзаболеваний связано с воздействием на работающих чрезмерного шума от используемого литейного оборудования, более высоким уровнем механизации и автоматизации и более продолжительным воздействием. Объективность данного распределения заболеваемости невритом слухового органа у работающих в литейных цехах массового производства подтверждается и значениями показателя  $K$ , которые имеют наибольшие значения ( $K=1,23$ ) по сравнению с шумовой нагрузкой работающих в цехах серийного ( $K=1,03$ ) и мелкосерийного ( $K=0,74$ ) производства.

В табл. 2 приведены результаты расчетов комплексного показателя суммарно по всем производственным факторам в литейных цехах с различным характером производства, которые показали, что условия труда наиболее неблагоприятные на рабочих местах плавильщиков, заливщиков, обрубщиков, чистильщиков литья, выбивальщиков форм.

Таким образом, данная методика комплексной оценки условий труда в литейном производстве позволяет определить класс условий труда работающих в зависимости от применяемых технологических процессов и используемого оборудования при разработке проектов новых, реконструируемых и действующих литейных цехов (участков) и оптимальный вариант.

Таблица 2. Значения показателя  $K$  по участкам литейных цехов с различным характером производства

Участок цеха	Значение $K$						
	шум	вибрация	пыль	вредные вещества	тепловое излучение	температура воздуха	сумма $K$ по участку
В цехах с массовым характером производства							
Смесеподготовительный	0,61		1,86	0,16			2,63
Смесеприготовительный	0,88	0,29	1,84	0,58			3,59
Стержневой	0,95	0,07	1,78	3,26	0,08	0,06	6,20
Формовочный	1,78	0,27	1,63	0,48	0,07	0,03	4,26
Шихтовый	0,52		1,22	0,09			1,83
Плавильно-заливочный	1,44		1,75	2,46	1,95	1,23	8,83
Выбивной	1,97	0,35	2,49	0,84	0,30	0,44	6,39
Обрубочно-очистной	2,94	1,15	3,79	0,34			8,22
Среднее значение $K$ по каждому фактору по цеху	1,39	0,27	2,05	1,03	0,33	0,22	
Общее значение $K$ по цеху	5,29						
В цехах с серийным характером производства							
Смесеподготовительный	0,44		1,50	0,10	0,12		2,16
Смесеприготовительный	0,65	0,15	1,42	0,29			2,51
Стержневой	0,49	0,09	1,48	2,19	0,05	0,07	4,37
Формовочный	1,39	0,19	1,28	0,26	0,11	0,02	3,23
Шихтовый	0,26		0,78	0,05			1,09
Плавильно-заливочный	0,98		1,53	1,88	1,64	1,08	7,11
Выбивной	2,13	0,27	1,94	0,51	0,22	0,31	5,38
Обрубочно-очистной	2,46	1,07	3,04	0,19			6,76
Среднее значение $K$ по каждому фактору по цеху	1,10	0,22	1,62	0,68	0,27	0,19	
Общее значение $K$ по цеху	4,08						

Участок цеха	Значение $K$						
	шум	вибрация	пыль	вредные вещества	тепловое излучение	температура воздуха	сумма $K$ по участку
В цехах с мелкосерийным характером производства							
Смесеподготовительный	0,29		1,28	0,11	0,08		1,76
Смесеприготовительный	0,23	0,19	1,27	0,07			1,76
Стержневой	0,35	0,14	1,16	0,33	0,03	0,04	2,05
Формовочный	0,53	0,12	0,88	0,15	0,17		1,85
Шихтовый	0,11		0,51	0,03			0,65
Плавильно-заливочный	0,22		1,08	0,76	1,22	0,87	4,15
Выбивной	1,27	0,16	1,32	0,32	0,15	0,23	3,45
Обрубочно-очистной	1,66	0,75	2,73	0,11			5,25
Среднее значение $K$ по каждому фактору по цеху	0,58	0,17	1,28	0,24	0,21	0,14	
Общее значение $K$ по цеху	2,62						

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Бабалов А. Ф.** Промышленная тепловая защита в металлургии. М.: Металлургия, 1971. 186 с.
2. **Алексеев С. В., Усенко В. Р.** Гигиена труда. М.: Медицина, 1988. 576 с.
3. **Заборов В. И., Кличко Л. Н., Росин Г. Г.** Защита от шума и вибрации в черной металлургии. М.: Металлургия, 1976. 248 с.
4. **Романов С. Н.** Биологическое действие вибрации и звука. М.: Машиностроение, 1991. 160 с.
5. **Лазаренков А. М.** Охрана труда на предприятиях металлургического производства. Мн.: УП «Технопринт», 2002. 264 с.

### REFERENCES

1. **Babalov A. F.** *Promyshlennaja teplozashhita v metallurgii* [Industrial thermal protection in metallurgy]. Moscow, Metallurgija Publ., 1971, 186 p.
2. **Alekseev S. V., Usenko V. R.** *Gigiena truda* [Occupational hygiene]. Moscow, Medicina Publ., 1988, 576 p.
3. **Zaborov V. I., Klichko L. N., Rosin G. G.** *Zashhita ot shuma i vibracii v chernoj metallurgii* [Protection against noise and vibration in the steel industry]. Moscow, Metallurgija Publ., 1976, 248 p.
4. **Romanov S. N.** *Biologicheskoe dejstvie vibracii i zvuka* [The biological effects of vibration and sound]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1991, 160 p.
5. **Lazarenkov A. M.** *Ohrana truda na predpriyatijah metallurgicheskogo proizvodstva* [Labor protection at metallurgical enterprises]. Minsk, UP «Tehnoprint» Publ., 2002, 264 p.



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-118-122>  
УДК 621.74:658.382

Поступила 02.08.2021  
Received 02.08.2021

## КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*А. М. ЛАЗАРЕНКОВ, Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. Тел. +375 29 669-90-98*

*Приведена классификация производственных факторов условий труда на рабочих местах у основного оборудования, используемого в литейном производстве. Данная классификация разработана на основе результатов проведенных исследований и по материалам, приведенным в отечественной и зарубежной литературе.*

*Это позволяет оценить используемые при проектировании и реконструкции литейных цехов (участков) технологические процессы и оборудование для обеспечения наиболее благоприятных условий труда.*

**Ключевые слова.** *Производственные факторы, условия труда, шум, вибрация, пыль, вредные вещества, тепловые излучения, температура воздуха.*

**Для цитирования.** *Лазаренков, А. М. Классификация производственных факторов литейного производства / А. М. Лазаренков // Литье и металлургия. 2021. № 3. С. 118–122. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-118-122>.*

## CLASSIFICATION OF PRODUCTION FACTORS OF FOUNDRY PRODUCTION

*A. M. LAZARENKOV, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti Ave.  
Tel.+375 29 669-90-98*

*The classification of production factors of working conditions at the workplaces of the main equipment used in the foundry is given. This classification is developed on the basis of the results of the conducted research and based on the materials given in the domestic and foreign literature.*

*This allows us to evaluate the technological processes and equipment used in the design and reconstruction of foundries (sections) to ensure the most favorable working conditions.*

**Keywords.** *Production factors, working conditions, noise, vibration, dust, harmful substances, thermal radiation, air temperature.*

**For citation.** *Lazarenkov A. M. Classification of production factors of foundry production. Foundry production and metallurgy, 2021, no. 3, pp. 118–122. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-118-122>.*

На основании анализа состояния охраны труда и проведенных исследований в литейных цехах была разработана классификация признаков оценки условий труда работающих в литейном производстве (табл. 1). Данная система составлена с учетом основных параметров, определяющих условия труда на рабочих местах практически всех переделов литейного производства. К этим признакам отнесены следующие: содержание пыли и вредных веществ, уровни шума и вибрации и интенсивность теплового излучения и температура воздуха на рабочем месте, т. е. те, которые характерны для большинства применяемых в литейных цехах технологических процессов и производственного оборудования и на которые приходится наибольшее количество жалоб работающих. Кроме того, при оценке абсолютных величин отдельных факторов производственной среды учитывали используемые стержневые и формовочные смеси, а также характер производства.

В данной классификации не учтены такие факторы, как уровни ультразвука, напряженность электростатических полей и др., что связано с отсутствием данных их замеров на рабочих местах, а также небольшим количеством рабочих мест в литейном производстве, где имеют место подобные производственные факторы.

Классификация разработана на основе результатов проведенных исследований условий труда в литейных цехах и по данным, имеющимся в отечественной и зарубежной литературе. Все используемое литейное оборудование распределено по технологическим операциям, принципам действия, типам и т. п. По каждому производственному фактору условий труда определены интервалы уровней, которые

у каждого вида оборудования отмечены в таблице знаком «+». Это означает, например, что уровень шума на рабочих местах у формовочных встряхивающих машин без амортизации ударов находится в интервале более 90 дБА и т.д. Если рядом с этим знаком в таблице имеется знак «→» (стрелка), то ее направление обозначает смещение абсолютных величин данного параметра к минимуму или максимуму от среднего значения указанного интервала. Отсутствие стрелки говорит о колебаниях величин параметра в пределах указанного интервала.

Так как уровни указанных выше факторов, создаваемых оборудованием и технологическими процессами различных участков литейных цехов, изменяются в широких пределах, для каждого параметра были определены интервалы. Так, по уровням шума приняты следующие интервалы: в пределах допустимого уровня 80 дБ, 81–85, 86–90, более 90 дБ. По вибрации рассматривали отдельно общую и локальную. Если по общей вибрации приняли два интервала (в пределах и выше допустимого уровня в 50 дБ), то для локальной ввели три (в пределах допустимого уровня 76 дБ, 77–80 и более 80), чтобы выделить наиболее виброопасный инструмент.

Концентрация пыли на рабочих местах литейных цехов также изменяется в широких пределах. Поэтому выделены четыре интервала (в пределах предельно допустимой концентрации, превышающий ПДК в 1,1–5,0; 5,1–10 и более 10 раз), чтобы была видна разница в технологических процессах, имеющих близкие по абсолютной величине пылевыведения.

Концентрации вредных веществ на рабочих местах, как правило, имеют меньшие превышения ПДК по сравнению с содержанием пыли, поэтому для содержания вредных веществ установлены три интервала (в пределах ПДК, превышающие ПДК в 1,1–3,0 и более 3 раз).

При определении интервалов интенсивности теплового излучения исходили из переносимости человеком тепловой радиации. Выделены три интервала: в пределах допустимого излучения 140, 141–560 Вт/м<sup>2</sup>, которую человек может переносить неопределенно долго, и более 561 Вт/м<sup>2</sup>, переносимость которой составляет 6 мин и менее в зависимости от интенсивности теплового потока.

Температуру воздуха в рабочей зоне учитывали в трех диапазонах: в пределах допустимых температур, превышающих допустимые на 1–10 и более 10 °С.

С учетом разработанной классификации производственных факторов условий труда в литейном производстве имеется возможность на стадии проектирования и реконструкции литейных цехов (участков) предусмотреть технологические процессы и литейное оборудование, которые позволят обеспечить на рабочих местах наиболее благоприятные условия труда, снизить производственный травматизм и профессиональные заболевания.

**Классификация признаков оценки условий труда работающих в литейных цехах**

Оборудование, технологический процесс (операция)	Параметры условий труда на рабочих местах																								
	шум, дБ				вибрация, дБ						пыль				вредные вещества			тепловое излучение, Вт/м <sup>2</sup>			температура воздуха рабочей зоны, °С				
					общая		локальная																		
	ПДУ	81–85	86–90	более 90	ПДУ	более 50	ПДУ	77–80	более 80	ПДК	1,1–5,0 ПДК	5,1–10 ПДК	более 10 ПДК	ПДК	1,1–3,0 ПДК	более 3 ПДК	ПДИ	141–560	более 561	допустимая	выше допустимой на 1–10	выше допустимой более 10			
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23				
Смесеподготовительное оборудование																									
Сушила барабанные горизонтальные		← +			+									→ +				+				→ +		+	
Сушила вертикальные	+				+									+				+						+	
Сушка песка в кипящем слое		→ +			+									← +				← +						→ +	+
Дробилки (щековые, валковые)		+				+								→ +				+						+	
Дробилки молотковые					+		+							+				+						+	
Мельницы (шаровые, молотковые)					+		← +							+				+						+	
Мельницы (вибрационные)		→ +					← +							+				+						+	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Сепараторы магнитные		+			+						+			+			+			+		
Сита (барабанные, вибрационные)		→ +			+							+		+			+			+		
Аэраторы, дезинтеграторы		+			+						+			+			+			+		
Гомогенизаторы, охладители		← +			+						+			+			+			+		
Регенерация: термическая		+			+						+				+				← +			+
гидравлическая	+				+					+				+			+			+		
механическая		→ +			+						+			+			+			+		
электрическая		+			+					+				+			+			+		
Смесеприготовительное оборудование																						
Бегуны: смешивающие		→ +				+					+				+		+			+		
центробежные		+				+					+				+		+			+		
Установка ХТС		← +			+						← +				+		+			+		
Установка ЖСС	+				+						← +			+			+			+		
Стержневое оборудование																						
Машины стержневые: пескодуювно-песко- стрельные		+			+						→ +			+			+			+		
отверждение в оснастке		+			+						+					+			→ +			+
встряивающие с допрессовкой			+			← +					+				+		+			+		
прессовые	+				+					+					+		+			+		
Установки ЖСС	+				+					+				+			+			+		
Установка ХТС		+			+					+					+		+			+		
CO <sub>2</sub> -процесс		← +			+					+				+			+			+		
Ашланд-процесс		+			+						+				+		+			+		
Бетасет-процесс		+			+						+				+		+			+		
SO <sub>2</sub> -эпокси-процесс		+			+						+				→ +*		+			+		
Формовочное оборудование																						
Уплотнение встряиванием: без амортизации ударов				+		+					+			+			+			+		
с амортизацией ударов			+		+						+			+			+			+		
Уплотнение вибрационное			+		+						+			+			+			+		
Уплотнение прессованием		+			+						← +			+			+			+		
Пескометы: ручное управление				+						+	→ +			+			+			+		
дистанционное		+			+						← +			+			+			+		
Уплотнение импульсное		→ +			+						+			+			+			+		
Гравитационное уплотнение	+				+						← +			+			+			+		
Скоростное прессование		→ +			+						← +			+			+			+		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Установки ЖСС	+				+						← +			+			+			+		
Установки ХТС		+			+						← +				+		+			+		
Вакуумно-пленочная формовка (V-процесс)	+				+						← +				← +*		+			+		
Уплотнение пескодувно-прессовое		+			+						→ +			+			+			+		
Встряхивание с подпрессовкой				+		+					+			+			+			+		
Гравитационно-прессовое уплотнение	+				+						← +			+			+			+		
Многостадийное прессование	+				+						← +			+			+			+		
Комбинированные импульсные методы уплотнения		→ +			+						+			+			+			+		
Сушка стержней и форм: сушила камерные	+				+					+					+		+				+	
сушила проходные	+				+					+					+			→ +			+	
переносной газовой горелкой		+			+					+					+			→ +			+	
Плавильное оборудование																						
Вагранки: открытого типа		+			+						+					+			+			+
закрытого типа		+			+						← +				+			← +				+
Печи электродуговые: переменного тока			+		+						+				+				+			+
постоянного тока		+			+						← +				← +				+			+
Печи индукционные: тигельные		+			+						← +				+			+			+	
канальные		← +			+						← +				+			+			+	
Заливка форм: на конвейере		+			+						+				+				+			+
на плацу	+				+						← +				+				+			+
Стенды сушки ковшей		→ +			+						← +				+			+			+	
Кран магнитный мостовой		+			+						→ +			+			+			+		
Чушколомы			→ +		+						→ +			+			+			+		
Выбивное оборудование																						
Решетки выбивные: в кабине		+			+					+				+			+			+		
инерционные				→ +	+							→ +			+			+			+	
вибрационные			→ +		+							+			+			+			+	
эксцентрикковые				+	+							→ +			+			+			+	
Прессовый метод		+			+						+				← +		+			+		
Обрубочно-очистное оборудование																						
Линии очистки и обдирки с рабочим органом:																						
стационарным				+					+			+		+			+			+		
подвесным (маятниковые)			+					+				+		+			+			+		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
переносным (ручные)			+					+				+		+			+			+		
автоматическим		→ +			+						+			+			+			+		
Камеры дробебетные			← +		+						+			+			+			+		
Барабаны очистные (галтовочные, дробебетные)			+			+						+		+			+			+		
Молотки рубильные пневматические				+					+		+			+			+			+		
Электрохимическая очистка	+				+					+					← +		+			+		
Электрогидравлическая очистка			+		+					+				+			+			+		
Установки гидравлические		+			+					+				+			+			+		
* Превышение ПДК только при изготовлении стержневых смесей.																						



Поэтическая страничка

### О СВОЕЙ НАУЧНОЙ РАБОТЕ

Окончил МГУ по специальности «Физико-Химические исследования металлургических процессов». Кроме учебы, занимался спортом, на кафедре - Научной работой, было много различных интересов.

Три года работал на заводе инженером.  
 Два года служил в армии офицером,  
 Но видел свое призвание в науке,  
 Хотел быть исследователем-пионером.

Поэтому работаю в академическом институте,  
 Мне нравится заниматься научной работой:  
 Проводить исследования литейных процессов,  
 Их анализировать, заниматься статейной работой.

Разработал рациональные технологические режимы  
 Непрерывного литья ЧШТ с заданной микроструктурой.  
 Написал и защитил кандидатскую диссертацию  
 По получению заготовок с такой микроструктурой.

Разработал научные и технологические основы  
 Литья силуминов с инвертированной структурой.  
 Сделал и защитил докторскую диссертацию  
 По получению заготовок с данной структурой.

Имею более 500 научных трудов.  
 Люблю творчество и красоту в науке.  
 Работаю не ради карьеры и денег.  
 В научной работе не бывает скуки.

Владимир Стеценко

Как-то вдруг повстречал свою старость.  
 Неожиданно, я и не ждал.  
 Уже 70, это же надо,  
 Словно спринтер я жизнь пробежал.

И не верится, будто со мною  
 Подшутили, насытав года.  
 В это возрасте ноют, болят,  
 Что мне делать? Признать? Навсегда?

Ну, а как же дела и работа?  
 Все оставить и в кресле сидеть?  
 Не согласен, я тот же мальчишка,  
 Правда, только успел поседеть.

Оглянуться пора? Несомненно,  
 Подытожить, что сделал, как жил.  
 Дел за жизнь оказалось не мало,  
 Суть не в этом - я жил, я любил.

Стеблов Анвер 2021



Поэтическая страничка

### РЫБАЛКА

На рыбалке красота,  
Как ее не полюбить!  
Кроме этого, мечтаем  
Много рыбы наловить.

Рано, рано, чуть заря,  
В небе летят утки.  
Отвлекаться тут нельзя,  
Даже на минутку.

Караулим поплавки  
В ожидании клева.  
Ну а если не клюет -  
Рыбка, будь здорова!

Рыбакам нужно терпенье  
И, конечно же, везенье.  
Мы не знаем наперед,  
Когда рыба подойдет.

Поплавки зашевелились  
И ушли под воду.  
Мащим рыбу поскорей,  
Не даем ей ходу.

Нам сегодня повезло,  
На косяк нарвались.  
И тягали рыбу мы,  
Очень уж старались.

Наловили мы плотвы,  
Полосатых окуней,  
Пару щук на пескарей,  
Золотистых трех лещей.

Будет, будет нам уха  
И пожарить - тоже.  
Ну а рыбу чистить надо,  
Кто-нибудь поможет.

Владимир Стеценко

### ЗА ГРИБАМИ

За грибами мы идем,  
Чтобы лесом надышаться.  
И, конечно же, хотим  
С грибами повстречаться.

Грибы ночью все растут,  
Утром в гости нас зовут.  
А кто любит долго спать,  
Тому грибов-то не видать.

Вот во мху, как на подушке,  
Видны желтенькие ушки.  
Кто вы, дружные сестрички?  
Это ведь грибы лисички!

Под сосенками стоят  
Много молодых маслят.  
Брать их надо осторожно,  
Ведь испачкать руки можно.

Подосиновик красив,  
Любит дерево осину,  
Виден нам издалика -  
Так и просится в корзину.

Словно малые ребята,  
Вот гурьбой стоят опята.  
Будто лезут на пенек.  
А зачем? - Им невдомек.

И красив он, и велик  
Этот толстый боровик.  
Шапка в шоколаде,  
Стоит, как на параде.

Чтоб грибов собрать корзину,  
Нужно очень рано встать,  
Много прошагать по лесу,  
И места, конечно, знать.

Владимир Стеценко

# ПАМЯТИ

## Эдиса Борисовича

### ТЕНА

#### 1941–2021



30 июня на 80-м году ушел из жизни выдающийся ученый, высококвалифицированный преподаватель, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, Заслуженный металлург НИТУ МИСиС, внесший неопределимый вклад в развитие науки и высшего образования России, Эдис Борисович Тен.

Эдис Борисович родился 17 сентября 1941 г. в Каракалпакской АССР (г. Ходжейли, Узбекистан). В 1959 г. там же окончил школу и поступил в Московский институт стали им. И. В. Сталина (ныне – НИТУ «МИСиС»), который закончил с отличием в 1964 г. по специальности «Литейное производство». Трудовую деятельность он начал еще студентом, совмещая первые два года учебы с работой формовщика на Московском заводе «Станколит». В 1965–1967 гг. после окончания МИСиС по направлению работал ассистентом Карагандинского политехнического института (ныне КарГТУ). В 1968–1970 гг. Э. Б. Тен учился в аспирантуре МИСиС. В 1971–1974 гг. вновь работал в КарГТУ старшим преподавателем и доцентом. С 1974 г. работал в МИСиС на кафедре технологии литейных процессов сначала старшим научным сотрудником, затем ассистентом, с 1976 г. – доцентом, а с 1993 г. – профессором. В 1971 г. он защитил кандидатскую, а в 1992 г. – докторскую диссертацию. В 1995–1998 гг. Эдис Борисович работал в Респ. Корея техническим советником промышленной компании. С 1999 г. до последнего времени работал профессором кафедры ТЛП (с 2015 г. «Литейные технологии и художественная обработка материалов»).

Эдис Борисович внес огромный вклад в развитие научных основ печной и внепечной обработки литейных сплавов, в том числе поверхностного легирования и модифицирования отливок в литейной форме. Вся профессиональная жизнь Эдиса Борисовича связана с высшей школой. Многие годы он возглавлял специализацию «Литейное производство черных металлов», читал будущим литейщикам курсы «Технологические основы литейного производства», «Производство стальных и чугунных отливок», «Внепечная обработка металлургических расплавов» и «Физико-химия литейных процессов». Подготовил двух докторов и 12 кандидатов технических наук, а также был соруководителем трех диссертаций PhD докторантов Республики Казахстан. За долгую профессиональную жизнь Эдис Борисович опубликовал множество научных работ, учебников, учебных пособий и монографий (более 300 наименований), по которым учатся студенты и аспиранты во многих ВУЗах страны и за рубежом. Эдис Борисович активно развивал и укреплял сотрудничество России с Республикой Корея. Так, в 2006–2011 гг. он основал и в дальнейшем возглавил Российско-Корейский научно-образовательный центр «Прогрессивные материалы и технологии», который занимался научно-техническим сотрудничеством НИТУ «МИСиС» с предприятиями Респ. Корея, а также с южно-корейскими университетами, научными организациями и частными компаниями. В частности, реализовывались соглашения о прохождении производственной практики на промышленных предприятиях, стажировке аспирантов и научных сотрудников в университетах и НИИ. Были заключены и реализованы свыше 20 контрактов. Также при его непосредственном участии был создан большой потенциал для сотрудничества, который до сих пор остается востребованным и актуальным.

Светлая память о Эдесе Борисовиче сохранится в сердцах его учеников, коллег и друзей.

## Литые детали из износостойких чугунов для узлов дробления центробежных мельниц и строительной техники

Разработаны составы синтетических износостойких хромистых чугунов ИЧХ18ВН и ИЧХ18ВМ и способы их литья в комбинированные и металлические формы (кокили). Время работы деталей, изготовленных из данных чугунов, в 1,5–2 раза больше, чем у существующих аналогов.

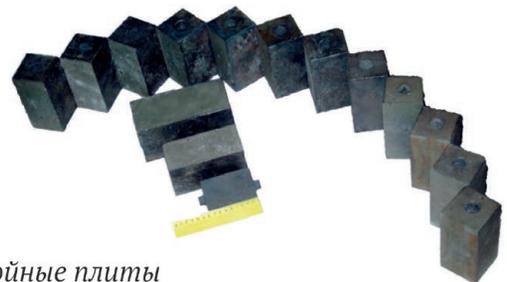
### Для центробежных мельниц



Кольцо нижнее



Конус



Отбойные плиты



Конус



Кольцо входное



Подкладные листы



Воронка

### Для строительной техники



Диски бисерной  
мельницы



Лопатки смесителя



Ножи шнека

# КАЧЕСТВО В КАЖДОЙ ФОРМЕ.

Литейная техника компании HWS.



 **MADE IN GERMANY**



## **sinto FOUNDRY INTEGRATION**

**HEINRICH WAGNER SINTO Maschinenfabrik GmbH**

SINTOKOGIO GROUP

Bahnhofstr. 101 · 57334 Bad Laasphe, Germany

Tel +49 2752/907 0 · Fax +49 2752/907 280 · [www.wagner-sinto.de](http://www.wagner-sinto.de)

**New Harmony » New Solutions™**

[www.sinto.com](http://www.sinto.com)

Представитель в РБ/  
Your contact in Belarus:  
SIA "TBH Technic"  
Phone/Fax: +375 17 352 50 64  
Mobile: +375 44 7404805,  
+375 29 6301757  
Email: [info@tbh-technic.com](mailto:info@tbh-technic.com)

## Основные направления деятельности:

- Ресурсосберегающие технологии в металлургии и литейном производстве
- Комплексные проекты по созданию новых и модернизации действующих литейных предприятий и цехов
- Технологии и оборудование для производства отливок из цветных и железоуглеродистых сплавов
- Технологии и оборудование для производства песчаных стержней
- Смесеприготовительное оборудование
- Формовочное оборудование
- Проектирование и изготовление литейной технологической оснастки
- Мелкосерийное литье



*Машина стержневая*



*Комплекс стержневой*



*Машина центробежная карусельная*



*Машина кокильная карусельная*



*Комплекс кокильный*

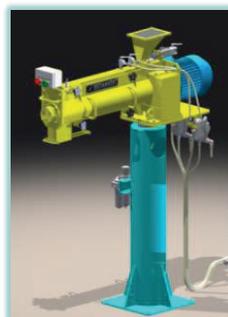


*Машина кокильная специальная (наклонная)*



*Комплекс оборудования для изготовления форм и стержней из ХТС*

### Смесители для приготовления песчано-смоляных смесей



*Непрерывного действия*



*Периодического действия*



*Комплекс смесеприготовительный*

### ОАО «БЕЛНИИЛИТ»

Беларусь, 220118, г.Минск, ул.Машиностроителей, 28/2

Тел.: +375 17 341 0822. Факс: +375 17 340 0322

[belniilit@belniilit.by](mailto:belniilit@belniilit.by); [marketing@belniilit.by](mailto:marketing@belniilit.by)

[www.belniilit.by](http://www.belniilit.by)

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ СЛОЖНОПРОФИЛЬНОЙ ОСНАСТКИ



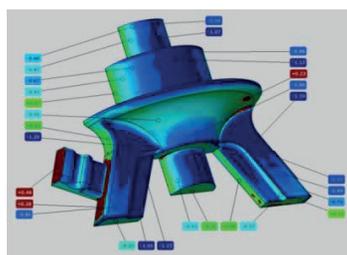
ОАО «БЕЛНИИЛИТ» проектирует и изготавливает сложнопрофильную оснастку для литейного производства с применением станков с ЧПУ.



## ОАО «БЕЛНИИЛИТ» осуществляет изготовление:

- комплектов модельной оснастки (из древесины, металла или пластика) для получения отливок деталей машиностроения любой сложности;
- кокилей любой сложности;
- комплектов модельной оснастки для отливок по оригиналам деталей без специальной конструкторской документации с применением оптической оцифровки.

Полный цикл изготовления - от проектирования отливки и оснастки по чертежу детали, изготовления оснастки до отработки технологии и изготовления опытных форм, стержней и отливок. Все это позволяет сократить сроки запуска оснастки в производственную эксплуатацию и освоение производства.



## Преимущества при изготовлении оснастки в ОАО «БЕЛНИИЛИТ»:

- неограниченный размер оснастки из дерева или пластика;
- срок проектирования и изготовления – от нескольких дней;
- стоимость ниже за счет применения инновационных технологий;
- для изготовления модельной оснастки используется различный материал;
- поставка совместно с оборудованием и отработкой технологии «под ключ».



## ОАО «БЕЛНИИЛИТ»

Беларусь, 220118, г.Минск, ул.Машиностроителей, 28/2

Тел.: +375 17 341 0822. Факс: +375 17 340 0322

[belniilit@belniilit.by](mailto:belniilit@belniilit.by); [marketing@belniilit.by](mailto:marketing@belniilit.by)

[www.belniilit.by](http://www.belniilit.by)

## О ЖУРНАЛЕ

Ежеквартальный научно-производственный журнал «Литье и металлургия» – единственный, издаваемый на территории Республики Беларусь, профессиональный журнал для ученых, инженеров и производителей, работающих в области литейного и металлургического производств.

Журнал выпускается на русском с аннотацией на английском языке, который распространяется не только в Беларуси, России, но и более чем в 20 странах мира. В течение последних лет он признается одним из лучших в Европе специализированных изданий.

Журнал выпускается в соответствии с требованиями международной системы SCOPUS, которая предусматривает включение статей авторов в мировые справочно-информационные системы баз данных.

**Подписаться на журнал можно через редакцию, а также через подписные каталоги:**

*РУП «Белпочта», ООО «Информнаука» (РФ), АО «МК-Периодика» (РФ),  
ООО «Прессинформ» (РФ), ГП «Пресса» (Украина), ГП «Пошта Молдовей»,  
АО «Летувос наитас», ООО «Подписное агентство PKS» (Латвия),  
фирма «INDEX» (Болгария)*

Подписной индекс журнала «Литье и металлургия»:  
Ведомственный – **75034**      Индивидуальный – **750342**

**Информация о стоимости размещения рекламы в журнале «Литье и металлургия»**

Вид рекламного модуля	Для Республики Беларусь Стоимость в бел. руб. с НДС	Для стран СНГ Стоимость в рос. руб.	Для стран дальнего зарубежья Стоимость в ЕВРО
На обложке (стр. 1, 4 ), полноцветный	619,66	21 350	700
На обложке (стр. 2, 3 ), полноцветный	557,69	19 825	650
Внутри журнала (формат 1/1 ), полноцветный	418,26	13 725	450
Внутри журнала (формат 1/2 ), полноцветный	209,14	7 625	250
Внутри журнала (формат 1/1 ), черно-белый	278,84	7 625	250
Внутри журнала (формат 1/2 ), черно-белый	139,42	3 965	130

Размещение рекламы в очередном номере осуществляется  
только после предварительной оплаты Заказчиком.

**Адрес и телефоны редакции:**

*Республика Беларусь, 220013, г. Минск, ул. Я. Коласа, 24, комн. 8М  
тел. (+375-17) 292-74-75, тел/факс (+375-17) 331-11-16.  
www.alimrb.by E-mail: limrb@tut.by, alimrb@tut.by*

## ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

**ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ**

К публикации принимаются материалы, касающиеся результатов оригинальных научно-технических исследований и разработок, не опубликованные и не предназначенные для публикации в других изданиях. Тематика предоставляемого материала должна соответствовать рубрикам журнала (литейное производство, металлургия, САПР, охрана труда, материаловедение).

Основным критерием целесообразности публикации статьи является ее новизна и информативность.

Статьи должны быть написаны в сжатой и ясной форме и содержать соответствующий индекс УДК; название на русском и английском языках; инициалы и фамилии авторов на русском и английском языках; полное название учреждений (с указанием адреса), в которых выполнялось исследование; аннотацию на русском и английском языках (150–200 знаков).

Редакция журнала подготавливает статьи к предоставлению для включения в зарубежные индексы цитирования SCIVERSE SCOPUS. В связи с этим **необходимо соблюдать основные требования к оформлению статей** (см. [www.alimrb.by](http://www.alimrb.by)).

Необходимо представить экспертное заключение о возможности опубликования материалов в открытой печати.

Авторы несут ответственность за направление в редакцию статей, ранее опубликованных или принятых к печати другими изданиями.

По решению редколлегии статьи направляются на рецензирование, затем визируются членом редколлегии. Датой поступления считается день получения редакцией первоначального варианта текста. Рукописи авторам не возвращаются.

Редакция предоставляет возможность первоочередного опубликования статей лицам, осуществляющим послевузовское обучение в год завершения обучения; не взимает плату с авторов за опубликование научных статей; оставляет за собой право производить редакторские правки, не искажающие основное содержание статьи.

**ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ**

Рукопись предоставляется на бумажном и электронном носителях. Текст набирается на страницах формата А4 в одну колонку, без абзачного отступа, шрифт *Times New Roman*, 12 пт, интервал одиночный. Поля не менее 1,5 см, страницы пронумерованы. Объем не более 8 страниц машинописного текста. Электронный вариант должен быть набран в *MS Word*. Статьи могут быть предоставлены в других форматах только по согласованию с редакцией. Электронный вариант рукописи должен быть идентичен бумажному. В случае расхождений правильным считается бумажный вариант.

Для набора сложных формул использовать формульный редактор *MS Word* или *Mathtape*. Набор простых формул и вставку отдельных символов выполнять через меню «Вставка/символ». Верхние и нижние индексы ( $C^2$ ,  $C_2$ ) выполнять через меню «Формат/шрифт/надстрочный или подстрочный». При наборе греческих символов и математических знаков использовать гарнитуру «*Symbol*» прямым начертанием, латинские буквы набирать курсивом. Формулы в тексте следует нумеровать подряд, в круглых скобках. Нумеровать рекомендуется те формулы, на которые имеются ссылки в последующем тексте.

Если в статье встречаются символы специфической гарнитуры, она должна быть предоставлена вместе со статьей.

Правильно набирать «10 °C», «10°», «№ 34», «23%», «34–68», «+12°», «42 + 16». Нельзя заменять букву «O» и знак греческого «°» нулем (0).

Таблицы располагаются в тексте статьи и не должны дублировать графики. Каждая таблица имеет заголовок. На все таблицы и рисунки следует давать ссылки в тексте. Ссылки на литературу приводятся в порядке их появления в тексте статьи и заключаются в квадратные скобки [ ]; цитирование двух или более работ под одним номером не допускается.

**ТРЕБОВАНИЯ К ИЛЛЮСТРАЦИЯМ**

Иллюстрации представляются в виде отдельных файлов в форматах *TIF*, *PSD*, *JPEG* (растровые), *AI*, *EPS*, *CDR* (векторные), а также *PDF*. Цветовая модель *RGB* или *CMYK*, разрешение 300 точек на дюйм (dpi). Цветовая модель *Grayscale* или *Bitmap* (серый или черно-белый), разрешение не менее 600 dpi. Использование других форматов файлов допустимо только по согласованию с редакцией.

Формат иллюстрации при верно заданном разрешении в dpi должен на 100 процентов соответствовать формату, с которым она будет печататься. Масштабирования и трансформации в программах ведут к ухудшению качества изображения. Недопустимо сильное увеличение размеров растрового файла (более чем на 50–70 процентов относительно исходного размера), так как это приведет к ухудшению четкости изображения. Формат журнала 210 × 297 мм до реза. Если рисунок должен полностью заполнять страницу журнала, то его размер должен быть не менее данного формата. Информативные текстовые элементы не должны выходить за пределы размера 190 × 277 мм.

Текст на рисунках должен быть набран шрифтом *Arial*, светлый курсив. Размер шрифта должен быть соизмерим с размером рисунка (желательно 9 пт). Все обозначения на рисунках должны быть расшифрованы. Подписи к рисункам представляются отдельным файлом в *MS Word* и на отдельной распечатке. Нумерация рисунков и нумерация подписей к ним должны совпадать.

При преобразовании изображений из цветовой модели *RGB* в *CMYK*, не следует использовать общее количество краски, большее, чем 300–320 процентов (параметр *Total ink*).

Если около краев изображения имеются практически безцветные области (например, яркие светлые облака или солнечные блики), то рекомендуется заключать все изображение в тонкую технологическую рамку темного цвета во избежание появления в печати «дыр» по краям картинки.

Крайне не рекомендуется печатать мелкие элементы (например, тонкие линии толщиной 0,1 мм и меньше) или текст размером менее 8 пт с использованием двух или более красок. Те же элементы не рекомендуется печатать белым цветом на составном цветном фоне.

Текстовые блоки в программах векторной графики (*Illustrator*, *CorelDraw*) желательно преобразовать в кривые или предоставить используемые в работе шрифты.

**ТРЕБОВАНИЯ К РЕКЛАМНЫМ МОДУЛЯМ**

Реклама внутри журнала – 205 × 290 мм. Реклама на обложке: 1-я стр. – 205 × 225 мм; 4-я стр. – 205 × 280 мм; внутренние страницы обложки – 205 × 290 мм. К указанным размерам нужно добавить по 5 мм с каждой стороны для обрезки. Значимые элементы макета должны располагаться не ближе 5 мм от края страницы (10 мм с учетом отступа для обреза). Требования к изображениям в рекламных макетах аналогичны требованиям к иллюстрациям в статьях. Рекламные модули могут быть предоставлены в других форматах только по согласованию с редакцией.

Статьи, не соответствующие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются. Возвращение статьи автору на доработку не означает, что она принята к печати.

# Литейное производство и металлургия 2021. Беларусь

## Уважаемые коллеги!

Ассоциация литейщиков и металлургов Республики Беларусь и Белорусский национальный технический университет приглашают Вас и Ваших партнеров принять участие в 29-й Международной научно-технической конференции и информационной выставке «Литейное производство и металлургия 2021. Беларусь», которая состоится 17–19 ноября 2021 г. в Минске по адресу: пр-т Победителей, д. 19, гостиничный комплекс «Юбилейный»

## Тематика конференции:

- Литейное производство.
- Металлургия и материаловедение.

Предлагаем Вам принять участие в работе конференции и выступить с докладом или презентацией вашего предприятия. Данные материалы будут включены в сборник трудов конференции. Требования к оформлению публикаций указаны на сайте [www.alimrb.by](http://www.alimrb.by).

В рамках конференции будет проходить награждение Лауреатов премий Ассоциации литейщиков и металлургов РБ по следующим номинациям:

- «Лучший инновационный проект, внедренный на литейном и металлургическом производствах, направленный на повышение качества продукции, энерго- и ресурсосбережение»
- «Лучшая научно-производственная работа молодого ученого (инженера)» (премия им. Д. М. Кукуя).



Координаты оргкомитета:  
220013, г. Минск,  
ул. Я. Коласа 24, комн. 8М  
Тел./факс: +375 17 331 11 16,  
e-mail: [alimrb@tut.by](mailto:alimrb@tut.by)