

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

**Сибирский государственный индустриальный университет**

*Посвящается 90-летию Сибирского  
государственного индустриального университета*

**МЕТАЛЛУРГИЯ:  
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО  
«Металлургия – 2019»**

*23 – 24 октября 2019 г.*

*Труды  
XXI Международной научно-практической конференции  
Часть 2*

**Новокузнецк  
2019**

УДК 669(06)+658.012.056(06)  
М 540

Редакционная коллегия  
академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,  
д.т.н., профессор М.В. Темлянцев, д.т.н., профессор Г.В. Галевский,  
д.т.н., профессор Н.А. Козырев, д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский,  
к.т.н., доцент С.Г. Коротков

М 540      Металлургия: технологии, инновации, качество : труды XXI Международной  
научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 2 / под ред. Е.В. Протопопова;  
Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. – 463 с. : ил.

ISSN 2542-1670

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и  
технологии производства, обработки и сварки металлов, энергоресурсосбережения,  
рециклинга и экологии в металлургии.

#### **ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

Администрация Кемеровской области  
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
АО «ЕВРАЗ ЗСМК»  
АО «Русал Новокузнецк»  
АО «Кузнецкие ферросплавы»  
ОАО «Черметинформация»  
Издательство Сибирского отделения РАН  
Журнал «Известия вузов. Черная металлургия»  
Журнал «Вестник СибГИУ»  
Журнал «IOP conference series: materials science and engineering»  
АО «Кузбасский технопарк»  
Западно – Сибирское отделение Российской Академии естественных наук  
Совет молодых ученых Кузбасса

ISSN 2542-1670

© Сибирский государственный  
индустриальный университет, 2019

СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИДА НИКЕЛЯ, ЛЕГИРОВАННОГО ЦИРКОНИЕМ, ПОЛУЧЕННОГО SPS-МЕТОДОМ <i>Немолочнов Д.А., Шевицова Л.И., Скороход К.А., Зимоглядова Т.А., Черкасова Н.Ю.</i> .....	200
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПЕРВИЧНЫХ ЛИТЕЙНЫХ СИЛУМИНОВ <i>Немчинова Н.В., Кузьмин М.П., Тимофеев А.А.</i> .....	205
ИНСТРУМЕНТ ИЗ ДОМЕННОГО ЧУГУНА БЕЗ ВЫДЕЛЕНИЙ ГРАФИТА <i>Афанасьев В.К., Попова М.В., Сагалакова М.М., Черныш А.П.</i> .....	209
ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ, ОТЖИГ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ 10 <i>Прудников А.Н., Прудников В.А.</i> .....	214
ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ АСУ КАЧЕСТВОМ ОТЛИВОК <i>Князев С.В., Усольцев А.А., Скопич Д.В., Соколов Б.М., Ознобихина Н.В.</i> .....	220
КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ БЕЛОГО НЕЛЕГИРОВАННОГО ДОМЕННОГО ЧУГУНА <i>Афанасьев В.К., Попова М.В., Черныш А.П., Сагалакова М.М., Прудников А.Н.</i> .....	224
ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ И ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ AL-SI-CU <i>Афанасьев В. К., Попова М.В., Малюх М.А.</i> .....	228
ОБРАБОТКА СТАЛИ НАНОСЕКУНДНЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ <i>Ноздрин О.В., Мельников А.Г., Зыков И.Ю., Ципилев В.П.</i> .....	235
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АЖ2.18 С ПРАЗЕОДИМОМ <i>Эсанов Н.Р., Ганиев И.Н., Хакимов А.Х.<sup>1</sup>, Иброхимов Н.Ф.</i> .....	240
ВЛИЯНИИ ДОБАВОК СВИНЦА НА КИНЕТИКУ ОКИСЛЕНИЯ СПЛАВА АЖ4.5, В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ <i>Ганиев И.Н., Сафаров А.Г., Одинаев Ф.Р., Якубов У.Ш.<sup>1</sup>, Ганиева Н.И.</i> .....	245
ВЛИЯНИИ ДОБАВОК ИТТРИЯ НА ТЕМПЕРАТУРНУЮ ЗАВИСИМОСТЬ ТЕПЛОЕМКОСТИ И ИЗМЕНЕНИЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ АЛЮМИНИЕВО-МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ МАРОК АМГ2, АМГ3 И АМГ4 .....	250
<i>Ганиев И.Н., Норова М.Т., Иброхимов Н.Ф., Иброхимов С.Ж.</i> .....	250
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ СПЛАВОВ СВИНЦА С БЕРИЛЛИЕМ, МАГНИЕМ И АЛЮМИНИЕМ <i>Ганиев И.Н., Умаров М.А., Махмадуллозода Х., Муллоева Н.М.</i> .....	255
КИНЕТИКА ОКИСЛЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АЖ5К10 С КАЛЬЦИЕМ <i>Якубов У.Ш., Ганиев И.Н., Хакимов А.Х., Ганиева Н.И., Джайлоев Дж.Х.</i> .....	260
КИНЕТИКА ОКИСЛЕНИЯ СВИНЦОВОГО СПЛАВА ССУЗ С КАЛЬЦИЕМ, В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ <i>Ганиев И.Н., Ниезов О.Х., Муллоева Н.М., Якубов У.Ш.</i> .....	265
<b>СЕКЦИЯ 3: ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ, ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ</b> .....	271
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СИНТЕЗА СОЕДИНЕНИЙ ХРОМА В НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ <i>Ширяева Л.С., Галевский Г.В., Саркенов Б.Б., Гладких И.В.</i> .....	271
КЛАССИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА И СФЕР ПРИМЕНЕНИЯ ПОРОШКА МОЛИБДЕНА <i>Ширяева Л.С., Галевский Г.В., Саркенов Б.Б., Гладких И.В.</i> .....	276
ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ <i>Ким К.К., Иванов С.Н.</i> .....	280
ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО РАЗРЯДА ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ ПОЛУЧЕНИИ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА НИКЕЛЯ <i>Ким С.В., Байкенов М.И., Ибишев К.С.</i> .....	287
О ВОЗМОЖНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ТУГОПЛАВКИХ БЕСКИСЛОРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В СИСТЕМАХ В <sub>4</sub> C-MEВ <sub>2</sub> (ME = TI, V, CR, ZR) <i>Гудыма Т.С., Крутский Ю.Л., Уваров Н.Ф., Крутская Т.М., Дубровская М.В., Саломатина А.А.</i> .....	290
ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БРОНЗОВЫХ ПОКРЫТИЙ, НАНЕСЕННЫХ НА КОНСТРУКЦИОННУЮ СТАЛЬ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ ЛЕГИРОВАНИЕМ <i>Куксёнова Л.И., Козлов Д.А.</i> .....	294

tors of steel quality of cast products for railway transport. Izvestiya Visshikh Uchebnykh Zavedenii. Chernaya Metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy. 2017;60(2):128-132. (In Russ.) DOI:10.17073/0368-0797-2017-2-128-132

4. Князев С.В., Скопич Д.В., Фатьянова Е.А., Усольцев А.А., Чепрасов А.И. Программно-аппаратный комплекс системы анализа дефектности отливок// Прогрессивные технологии в современном машиностроении : сборник статей XII Международной научно-технической конференции. Под редакцией Е.А. Чуфистова. Пенза, 2017. С. 20-26.

5. Князев С.В., Скопич Д.В., Усольцев А.А., Фатьянова Е.А. Прогнозирование качественных характеристик стали марки 20ГФЛ// Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2015. № 2 (12). С. 31 -33.

6. Князев С.В. Алгоритм диагностики дефектности отливок и структура АСУ их качеством/Князев С.В., Антипенко В.И., Марчуков В.А., Усольцев А.А.// Литейное производство. -1992. -№ 4. -с.26-27.

7. Князев С.В., Усольцев А.А., Скопич Д.В., Фатьянова Е.А. Опыт разработки и внедрения автоматизированной системы пооперационного контроля производства отливок// Современные технологии в машиностроении: сборник статей XVII международной научно-технической конференции, 2013. -Пенза, ПДЗ -С. 111 -117.

8. Ключевые показатели качества стали литых изделий для железнодорожного транспорта / С. В. Князев, Д. В. Скопич, Е. А. Фатьянова, А. А. Усольцев, А. И. Куценко // Известия вузов. Черная металлургия. – 2017. – Т. 60, № 2. - С. 128-132. – Библиогр.: с. 131 (20 назв.). – Режим доступа: <http://library.sibsiu.ru>

УДК 669.13:621.753.5

## КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ БЕЛОГО НЕЛЕГИРОВАННОГО ДОМЕННОГО ЧУГУНА

Афанасьев В.К.<sup>1</sup>, Попова М.В.<sup>1</sup>, Черныш А.П.<sup>2</sup>,  
Сагалакова М.М.<sup>3</sup>, Прудников А.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, Россия, [m.popova@rdtc.ru](mailto:m.popova@rdtc.ru)

<sup>2</sup> Кемеровский научно-исследовательский институт-филиал СФНЦА РАН,  
г. Кемерово, Россия

<sup>3</sup> Хакасский технический институт-филиал ФГАОУ ВО СФУ,  
г. Абакан, Россия

*Аннотация.* В работе исследована коррозионная стойкость белого нелегированного чугуна без выделений графита. Испытания проводили в водных растворах серной, азотной и соляной кислот в течение 24 и 240 часов. Коррозионную стойкость оценивали гравиметрическим методом. Установлено, что коррозионная стойкость белого чугуна в растворах кислот в 2-3 раза выше, чем коррозионная стойкость серого чугуна. Повышение коррозионной стойкости объясняется отсутствием выделений графита в структуре белого нелегированного чугуна.

*Ключевые слова:* доменный чугун, коррозионная стойкость, растворы кислот, микроструктура, графит, ледебурит.

## CORROSION RESISTANCE OF WHITE UNALLOYED BLAST IRON

Afanasyev V.K.<sup>1</sup>, Popova M.V.<sup>1</sup>, Chernysh A.P.<sup>2</sup>, Sagalakova M.M.<sup>3</sup>, Prudnikov A.N.<sup>1</sup>

Siberian State Industrial University  
<sup>1</sup>Novokuznetsk, Russia, [m.popova@rdtc.ru](mailto:m.popova@rdtc.ru)

<sup>2</sup> *Kemerovo Research Institute-Branch of SFNCA RAS,  
Kemerovo, Russia*

<sup>3</sup> *Khakas Technical Institute-Branch of FSAOU VO SFU,  
Abakan, Russia*

**Abstract.** *The article examined the corrosion resistance of white unalloyed cast iron without graphite emissions. The tests were carried out in aqueous solutions of sulfuric, nitric and hydrochloric acids for 24 and 240 hours. Corrosion resistance was evaluated by gravimetric method. It has been found that the corrosion resistance of white cast iron in acid solutions is 2-3 times higher than that of grey cast iron. The increase in corrosion resistance is due to the absence of graphite emissions in the structure of white unalloyed cast iron.*

**Keywords:** *blast furnace iron, corrosion resistance, acid solutions, microstructure, graphite, ledeburit.*

Развитие науки и техники привело к тому, что металлы и сплавы зачастую эксплуатируются в крайне жёстких условиях, многие из которых ускоряют процесс коррозии [1]. Повышение коррозионной стойкости чугуна для работы в различных агрессивных средах идет по пути все более полного использования легирующих элементов. Общепринятым в мировой практике в этом случае является легирование чугуна различными элементами, вплоть до драгоценных (родий) [2, 3]. Происходит это потому, что анодом при воздействии любой агрессивной среды в чугуне является графит. Следовательно, для повышения коррозионной стойкости чугуна необходимо исключить присутствие графита в его структуре [4, 5].

Разработанный нами белый чугун (БЧ) чугун не содержит дорогостоящих легирующих элементов и не имеет в структуре выделений графита [6, 7]. В связи с этим представляет большой интерес проведение коррозионных испытаний его в различных агрессивных средах в сравнении с серым чугуном (СЧ), имеющим выделения графита [8].

Коррозионную стойкость исследуемого чугуна оценивали в растворах серной, соляной и азотной кислот при комнатной температуре. Выбор кислот был обусловлен их наиболее активным воздействием на чугуны. Для подбора наиболее активной концентрации серной кислоты было проведено исследование коррозионной стойкости БЧ в 10, 20, 25, 40, 50, 75, 100 %  $H_2SO_4$ . В результате был выбран 25%-й раствор  $H_2SO_4$ , и все дальнейшие испытания были проведены в нем. То же было сделано для соляной и азотной кислот. Соляная кислота, поставляемая по ГОСТ 3118-77, имела исходную массовую долю 36 %. (рисунок 1).

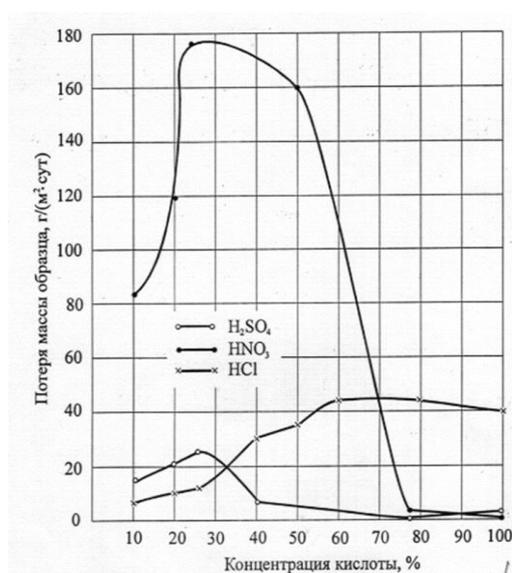


Рисунок 1 – Влияние концентрации серной, азотной и соляной кислот на коррозионную стойкость доменного чугуна с ледебуритной структурой

Коррозионные испытания проводились путем погружения образцов в спокойный, неперемешиваемый раствор. Время испытания в кислотах составляло 24 и 240 ч.

Коррозионная стойкость образцов оценивалась гравиметрическим методом, то есть по потере массы образцов с единицы поверхности (ГОСТ 6032-89). Расчет показателя коррозии проводился по формуле:

$$K = \frac{m_0 - m_1}{S \cdot \tau}$$

где  $m_0$  – масса образцов до коррозионного испытания, г;

$m_1$  – масса образцов после коррозионного испытания, г;

$S$  – площадь поверхности образцов,  $m^2$ ;

$\tau$  – время коррозионного испытания, ч.

На рисунках 2 – 4 приведены результаты по определению скорости коррозии СЧ и БЧ. Они также наглядно показывают преимущества чугуна без выделений графита. Это не является неожиданным заключением, поскольку создание коррозионностойких и жаростойких чугунов традиционно предусматривает устранение выделений графита с помощью применения больших количеств легирующих элементов (до 50 %), удаляющих водород из чугуна либо связывающих его в устойчивые соединения.

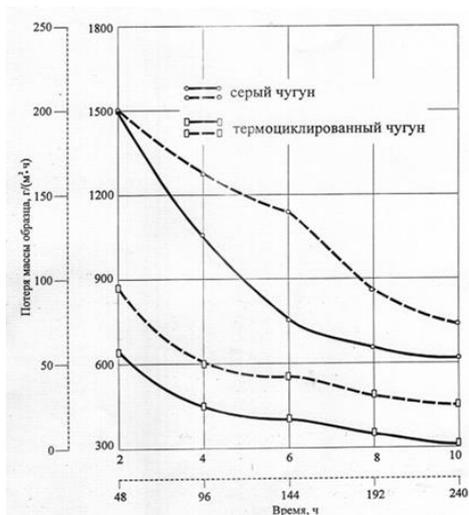


Рисунок 2 – Влияние времени выдержки в 25-ной HNO<sub>3</sub> на скорость коррозии СЧ и БЧ

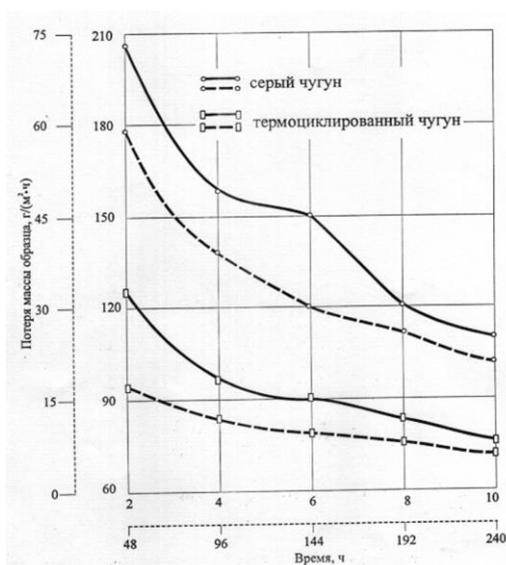


Рисунок 3 – Влияние времени выдержки в 25-ной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> на скорость коррозии СЧ и БЧ

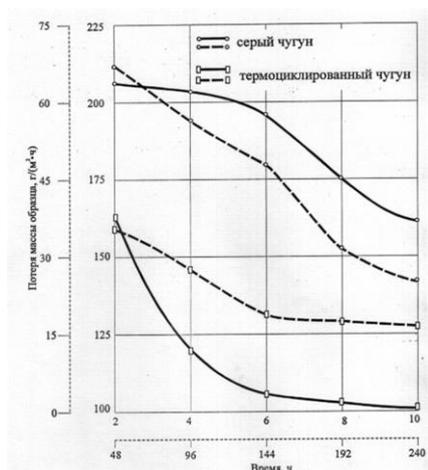


Рисунок 4 – Влияние времени выдержки в 25-ной HCl на скорость коррозии СЧ и БЧ

В данном случае удаление водорода и выделений графита с помощью обработки расплава передельного чугуна производства ЗСМК привело к тому, что анодными участками стали участки металлической основы. Цементит же, представляющий собой области твердого раствора с прочно связанными в химическое соединение водородом, азотом, кислородом и углеродом, становится катодом. Поэтому выдержки в весьма агрессивных средах (водные растворы кислот) приводят к глубокому растравливанию основы и участков с графитом в сером чугуне и только основы – в чугуне с ледебуритной структурой [9].

Следует отметить, что наряду с традиционным представлением о коррозии можно сделать важный вывод о том, что она с увеличением времени выдержки значительно падает. Это очень существенное обстоятельство, которое поможет в последующем для выбора режимов химико-термической обработки с целью повышения режущих свойств чугунного инструмента [10].

Замедление коррозии СЧ и БЧ происходит в связи с особым изменением микроструктуры. На рисунке 5 в качестве примера показана очистка от темной составляющей (графит+перлит) доменного передельного чугуна с выделениями графита после выдержки в соляной кислоте (рисунки 5 а, б, в). Такая же, но менее четко выраженная микроструктура образуется под действием других кислот.

Белый чугун с ледебуритной структурой (БЧ) тоже имеет темную структурную составляющую – перлит. Соляная кислота и в этом случае «осветляет» структуру (рисунки 5 г, д, е).

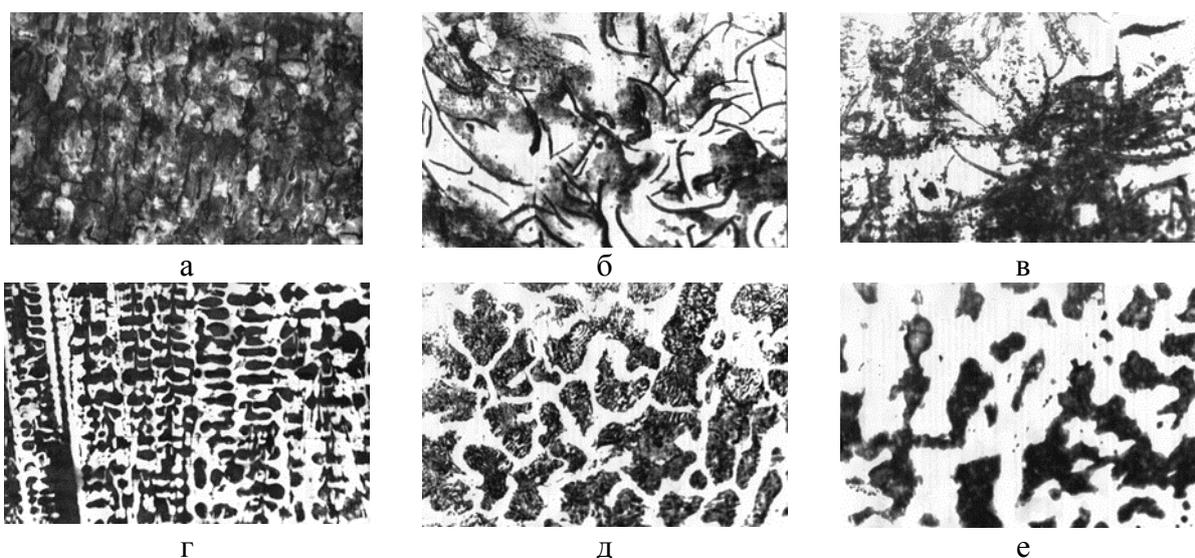


Рисунок 5 – Микроструктура СЧ (а, б, в) и БЧ (г, д, е) после выдержки в 25 % растворе HCl: а, г – до травления; б, д – время выдержки 24 ч; в, е – время выдержки 240 ч x110

Направление, основанное на новых представлениях о механизме формирования выделений графита [11], является весьма перспективным, так как позволяет получить новый материал, не имеющий себе равных по себестоимости. Более того, свойства такого материала являются совершенно неизученными, и поэтому в дальнейшем требуется постановка систематических исследований, которые позволят выявить его многие замечательные качества.

#### Библиографический список

1. Ангал Р. Коррозия и защита от коррозии: пер. с англ.; 2-е изд. / Р. Ангал. – Долгопрудный: Интеллект, 2014. – 344 с.
2. Чугун: справ. изд. / под ред. А.Д. Шермана, А.А. Жукова. – Москва: Metallurgia, 1991. – 576 с.
3. А.с. 1663041 СССР, МКИ<sup>2</sup> С 22 С 37/06. Коррозионностойкий чугун. / П.Б. Кузьмин, М.Ю. Кузьмина (СССР). – № 4658989/02. – Заявл. 06.03.89. – Опубл. 15.07.91. – Бюл. № 26. – С. 103.
4. Прогрессивные способы повышения свойств доменного чугуна / Афанасьев В.К., Айзатулов Р.С., Кустов Б.А., Чибряков М.В. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 1999. – 258 с.
5. Афанасьев В.К. О формировании структуры доменного чугуна / В.К. Афанасьев, С.В. Долгова, А.П. Черныш, О.В. Санкина, М.М. Сагалакова, А.С. Санкин // Metallurgia машиностроения. – 2016. – № 3. – С. 9-14.
6. Афанасьев В.К. Доменный чугун – металл будущего / В.К. Афанасьев, С.А. Гладышев, Л.А. Годик, А.А. Золотовский, А.И. Катунин, В.Я. Келлер, Н.М. Кулагин, Б.А. Кустов, В.А. Моксинов, Л.М. Полторацкий, М.В. Попова, А.В. Сочнев, Ю.А. Селезнев, А.Н. Смирнов, В.Н. Толстогузов, М.А. Усов, В.Я. Целлермаер, М.В. Чибряков, В.И. Чичков. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2005. – 343 с.
7. Афанасьев В.К. Доменный чугун без выделений графита – новый материал многоцелевого назначения / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, А.В. Кольба, М.М. Сагалакова, Г.Е. Громов, А.В. Сочнев // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2003. – № 2 (18). – С. 14-16.
8. Афанасьев В.К. О влиянии обработки расплава доменного чугуна на его коррозионную стойкость / В.К. Афанасьев, М.М. Сагалакова, М.В. Чибряков // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. – 1998. – № 6. – С. 35.
9. Афанасьев В.К. Metallographia чугуна / В.К. Афанасьев, С.В. Долгова, М.В. Попова, М.М. Сагалакова, А.О. Токарев, В.Н. Толстогузов, В.В. Герцен, А.П. Черныш. – под научн. ред. проф. Афанасьева В.К. – Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 482 с.
10. Афанасьев В.К. Быстрорежущая сталь и инструментальный чугун / В.К. Афанасьев, С.В. Долгова, М.В. Попова, С.В. Магазов, А.В. Кольба, А.П. Черныш. – под научн. ред. проф. Афанасьева В.К. – Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 630 с.
11. Афанасьев В.К. Водородный механизм образования выделений графита в чугуне / В.К. Афанасьев // Литейное производство. – 2014. – № 1. – С.

УДК 669.71.017

### ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ И ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al-Si-Cu

**Афанасьев В. К., Попова М.В., Малюх М.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, Россия, starostina\_ma1976@mail.ru*

*Аннотация. Представлены результаты исследований влияния легирования медью на микроструктуру и температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) высоколегированных алюминиевых сплавов специального назначения на основе системы Al-*