

ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

ISSN 1997-9258

**Журнал входит в перечень ведущих периодических изданий,
рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций
на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук**

Главный редактор:

Семенов В.В., канд. экон. наук

Заместители главного редактора:

Леонтьев Л.И., академик РАН
Могутнов Б.М., д-р хим. наук
Волков А.И., канд. хим. наук

Члены редколлегии:

Алымов М.И., член-корр. РАН
Бабул Т., профессор (Польша)
Бродов А.А., канд. экон. наук
Григорович К.В., академик РАН
Денисов С.Н., д-р экон. наук
Дуб А.В., д-р техн. наук
Еремин Г.Н., канд. техн. наук
Зайцев А.И., д-р физ.-мат. наук
Иевлев В.М., академик РАН
Комлев В.С., член-корр. РАН
Куклев А.В., д-р техн. наук
Левашов Е.А., д-р техн. наук
Морозов Ю.Д., канд. техн. наук
Москвина Т.П., канд. техн. наук
Никулин А.Н., д-р техн. наук
Орыщенко А.С., член-корр. РАН
Петрова Л.Г., д-р техн. наук
Рубаник В.В., член-корр. НАНБ (Беларусь)
Рудской А.И., академик РАН
Родионова И.Г., д-р техн. наук
Скачков О.А.
Смирнов Л.А., академик РАН
Сомерс М.А.Дж., профессор (Дания)
Тихонов А.К., д-р техн. наук
Филиппов Г.А., д-р техн. наук
Филонов М.Р., д-р техн. наук
Флюге В., профессор (Германия)

С требованиями к публикациям в журнале «ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ» и правилами оформления статей можно ознакомиться на сайте ЦНИИчермет им. И.П. Бардина – www.thermet.net

Подписной индекс 58999

в объединенном каталоге «Пресса России» на сайте www.pressa-rf.ru и «Пресса по подписке» <https://www.akc.ru>

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство ПИ № ФС77-60022

Выпуск подготовлен
Информационно-издательским центром
ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»:

Руководитель ИИЦ	Е.Х. Иванова
Редактор	Н.Н. Литвинова
Верстка	П. Несмелова

Адрес редакции:

105005 Москва, ул. Радио, дом 23/9, стр. 2
ЦНИИчермет им. И.П. Бардина,
тел. 777 93 02, 777 95 13, факс 777 93 00,
E-mail: ntpnm@yandex.ru, rhenium@list.ru

ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

СОДЕРЖАНИЕ

3 • 2023

ОБЗОРЫ

Кононенко Р.В., Попов М.А., Дерюгин Ф.Ф., Бянкин В.Е.

Характеристика микроструктуры и ее связь с ударной вязкостью металлов сварного шва трубных высокопрочных низколегированных сталей 4

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ МЕТАЛЛУРГИИ

Конюхов В.Ю.

Исследования влияния неметаллических включений на показатели ударной вязкости рельсовой стали 20

Чащин В.В., Ерёмин Г.Н.

Регулируемое охлаждение рулонов – необходимое технологическое звено горячей полосовой прокатки 33

Алиев А.А., Александрова Н.М., Филиппов Г.А.

Влияние содержания углерода в низкоуглеродистой стали статора генератора на магнитную индукцию и величину тока 42

Адигамов Р.Р.

Исследование влияния различных параметров профиля на волнистость поверхности оцинкованного проката 47

Налетов В.А.

Повышение энергоэффективности доменного процесса на основе рекуперации вторичной энергии в органическом цикле Ренкина 54

Иванов Ю.Ф., Чапайкин А.С., Гусева Т.П., Романов Д.А., Громов В.Е.

Преобразование структуры и свойств наплавки Р18Ю после высокотемпературного отпуска и электронно-пучковой обработки 62

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Гришин А.В., Родионова И.Г., Павлов А.А., Клячко М.А.

Оценка влияния режимов отжига на структурные и механические свойства микролегированных титаном автолистовых сталей 80

Балановский А.Е., Константинова М.В., Гусева Е.А., Кононенко Р.В., Попов М.А., Дерюгин Ф.Ф., Бянкин В.Е.

Эволюция структурно-фазового состояния рельсов из заэвтектоидной стали при длительной эксплуатации 91

ПЕРЕРАБОТКА ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Стулов П.Е., Волков А.И., Кологривова У.А.

Получение ванадий-алюминиевой лигатуры из оксидов V_2O_3 и V_2O_5 с допустимым содержанием примесей 100

Карлина А.И., Карлина Ю.И., Гладких В.А.

Активирующие флюсы для дуговой сварки на основе ультрадисперсных продуктов переработки отходов кремниевого производства 107

ИНФОРМАЦИЯ

Поздравляем юбиляра – Ольгу Николаевну Чевскую 119

Якову Львовичу КАЦУ– 70 лет. 120

Памяти Александра Ивановича Зайцева. 121

PROBLEMS OF FERROUS METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE

CONTENTS

3 • 2023

REVIEWS

Kononenko R.V., Popov M.A., Deryugin F.F., Byankin V.E.

Characteristics of the microstructure and its relationship with the impact strength of weld metals of pipes made of high-strength low-alloy steels 4

PRODUCTION PROCESSES IN METALLURG

Konyukhov V.Yu.

Studies of the influence of non-metallic inclusions on the impact strength of rail steel. 20

Chashchin V.V., Eremin G.N.

Controlled roll cooling is a necessary technological step for hot strip rolling 33

Aliev A.A., Alexandrova N.M., Filippov G.A.

Effect of carbon content in low-carbon steel of generator stator on magnetic induction and current value 42

Adigamov R.R.

Investigation of the influence of various profile parameters on the undulation of the surface of galvanized rolled products 47

Naletov V.A.

Improving blast furnace process efficiency using Organic Rankine Cycle for waste heat recovery 54

Ivanov Yu.F., Chapayikin A.S., Guseva T.P., Romanov D.A., Gromov V.E.

Transformation of the structure and properties of R18Yu surfacing after high-temperature tempering and electron beam process 62

MATERIALS SCIENCE AND NEW MATERIALS

Grishin A.V., Rodionova I.G., Pavlov A.A., Klyachko M.A.

Evaluation of the effect of annealing modes on the structural and mechanical properties of titanium-microalloyed autoloading steels. 80

Balanovsky A.E., Konstantinova M.V., Guseva E.A., Kononenko R.V., Popov M.A., Deryugin F.F., Byankin V.E.

The impact of processing methods on the microstructure and properties of structural steel. 91

PROCESSING OF TECHNOGENIC MATERIALS

Stulov P.E., Volkov A.I., Kologrieva U.A.

Production of vanadium-aluminum alloy from V_2O_3 and V_2O_5 oxides with allowable impurity contents 100

Karlina A.I., Karlina Yu.I., Gladkikh V.A.

Activating fluxes for arc welding based on ultra-disperse products of silicon production waste processing. 107

INFORMATION

Congratulations to the hero of the day – Olga Nikolaevna Chevskaya 119

Yakov Lvovich KATZ is 70 years old. 120

In memory of Alexander Ivanovich Zaitsev. 121

ХАРАКТЕРИСТИКА МИКРОСТРУКТУРЫ И ЕЕ СВЯЗЬ С УДАРНОЙ ВЯЗКОСТЬЮ МЕТАЛЛОВ СВАРНОГО ШВА ТРУБНЫХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Роман Владимирович Кононенко¹, канд. техн. наук, доцент; **Максим Алексеевич Попов¹**;
Федор Федорович Дерюгин¹, **Владислав Евгеньевич Бянкин¹**

*¹Иркутский Национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия.
E-mail: kononenko_irk@mail.ru, popovma.kvantum@gmail.com, deryugin040301@yandex.ru,
borck3420@gmail.com*

Аннотация. В течение многих лет для сварки крупных труб нефте- и газопроводов применялись проверенные процессы дуговой сварки: от ручной дуговой сварки штучными электродами до применения аппаратов орбитальной сварки с использованием металла. В то же время создание новых составов сталей для нефте- и газопроводов является актуальной задачей для обеспечения их высокой надежности. В трубном производстве обычно используются низкоуглеродистые стали с феррито-перлитной структурой, но они не в состоянии удовлетворить возросшие потребности рынка. Появляются новые марки стали с бейнитной структурой. Разрушение сварных соединений трубопроводов из высококачественной стали становится серьезной проблемой для трубопроводной промышленности. В данной работе проведен анализ характеристик микроструктуры сварного шва и ее связь с ударной вязкостью. Прогнозирование ударной вязкости на основе микроструктурных характеристик металлов сварных швов стали усложняется из-за большого числа учитываемых параметров. Обычная практика, связывающая это свойство с микроструктурой последнего валика многопроходной сварки, оказалась неудовлетворительной, поскольку количество игольчатого феррита, наиболее желательного компонента, не всегда может быть основным фактором, влияющим на ударную вязкость. В обзоре сообщается о наиболее репрезентативном исследовании, касающемся микроструктурного фактора в сварном шве трубных сталей. Он включает в себя сводку наиболее важных переменных процесса, свойств материалов, нормативных правил, а также характеристик микроструктуры и механических свойств соединений.

Ключевые слова: высокопрочная низколегированная сталь, феррит, перлит, бейнит, мартенсит, ударная вязкость, разрушение, гибридно-лазерная сварка, стандарты

CHARACTERISTICS OF THE MICROSTRUCTURE AND ITS RELATIONSHIP WITH THE IMPACT STRENGTH OF WELD METALS OF PIPES MADE OF HIGH-STRENGTH LOW-ALLOY STEELS

Roman V. Kononenko, Maxim A. Popov, Fedor F. Deryugin, Vladislav E. Byankin

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia.

Abstract. For many years, proven arc welding processes have been used for welding large pipes of oil and gas pipelines: from manual arc welding with piece electrodes to the use of orbital welding devices using metal. At the same time, the creation of new steel compositions for oil and gas pipelines is an urgent task to ensure their high reliability. Low-carbon steels with ferrite-perlite structure are usually used in pipe production, but they are not able to meet the increased needs of the market. New steel grades with a bainite structure are emerging. The destruction of welded joints of pipelines made of high-quality steel is becoming a serious problem for the pipeline industry. In this paper, the characteristics of the microstructure of the weld and its relationship with the impact strength are analyzed. The prediction of impact strength based on the microstructural characteristics of steel weld metals is complicated due to the large number of parameters taken into account. The usual practice linking this property with the microstructure of the last roller of multi-pass welding turned out to be unsatisfactory, since the amount of needle ferrite, the most desirable component, may not always be the main factor affecting the impact strength. The review reports on the most representative study concerning the microstructural factor in the welded seam of pipe steels. It includes a summary of the most important process variables, material properties, regulatory rules, as well as microstructure characteristics and mechanical properties of compounds.

Keywords: high-strength low-alloy steel, ferrite, perlite, bainite, martensite, toughness, fracture hybrid laser welding, standards

DOI 10.54826/19979258_2023_3_20
УДК 669.017

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ

Владимир Юрьевич Конюхов, канд. техн. наук

Иркутский Национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация: На основании металлографического анализов определена относительная концентрация и размер большинства неметаллических включений для элементов рельса (головка) из электростали марок Э76ХФ. Установлено, что формы и размеры сульфидов марганца (MnS) имеют широкий диапазон вариаций. В то же время 60–100 % этих типов включений имеют размер (более 5 мкм) и могут быть обнаружены при стандартном металлографическом анализе при 100-кратном увеличении. В тоже время для более качественного исследования неметаллических включений необходимо использовать электронные растровые микроскопы. В исследованиях оценкам влияния неметаллических включений на значения ударной вязкости установлена качественная картина снижения показателей ударной вязкости в диапазоне температур от –20 до +20° С.

Ключевые слова: ударная вязкость, металлография, оптический и электронный микроскоп, неметаллические включения, прочность, растяжение, химические элементы.

STUDIES OF THE INFLUENCE OF NON–METALLIC INCLUSIONS ON THE IMPACT STRENGTH OF RAIL STEEL

Vladimir Yu. Konyukhov

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. On the basis of metallographic analyses, the relative concentration and size of the majority of non–metallic inclusions for rail elements (head) from electric steel grades E76XF were determined. It was found that the shapes and sizes of manganese sulfides (MnS) have a wide range of variations. At the same time, 60–100% of these types of inclusions have a size (more than 5 microns) and can be detected by standard metallographic analysis at 100–fold magnification. At the same time, for a better study of non–metallic inclusions, it is necessary to use electronic scanning microscopes. In studies to assess the effect of non–metallic inclusions on the values of impact strength, a qualitative picture of a decrease in impact strength in the temperature range –20 – +20 °C. has been established.

Keywords: impact strength, metallography, optical and electron microscope, nonmetallic inclusions, tensile strength, chemical elements.

DOI 10.54826/19979258_2023_3_33
УДК 621.771.22.09.669.1

РЕГУЛИРУЕМОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ РУЛОНОВ – НЕОБХОДИМОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ЗВЕНО ГОРЯЧЕЙ ПОЛОСОВОЙ ПРОКАТКИ

Валерий Васильевич Чашин, канд. техн. наук;
Геннадий Николаевич Ерёмин, канд. техн. наук

ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», Москва, Россия
E-mail: vvch46@mail.ru

Аннотация. Показана реальная необходимость разработки технологии регулируемого охлаждения горячекатаных полос в рулонах. Приведены примеры состава оборудования для реализации различных вариантов регулируемого охлаждения горячекатаных полос различного класса в рулонах.

Ключевые слова: полоса, рулон, охлаждение на воздухе, ускоренное охлаждение, замедленное охлаждение

CONTROLLED ROLL COOLING IS A NECESSARY TECHNOLOGICAL STEP FOR HOT STRIP ROLLING

Valery V. Chashchin, Gennady N. Eremin

I.P. Bardin TSNIChermet, Moscow, Russia

Abstract. The real need to develop a technology for controlled cooling of hot-rolled strips in coils is shown. Examples of equipment scope for the implementation of various options for controlled cooling of hot-rolled strips of various classes in coils are demonstrated.

Keywords: strip, roll, air cooling, accelerated cooling, slow cooling

DOI 10.54826/19979258_2023_3_42
УДК 621.313.12

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА В НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ СТАТОРА ГЕНЕРАТОРА НА МАГНИТНУЮ ИНДУКЦИЮ И ВЕЛИЧИНУ ТОКА

Алиназар Акпер оглы Алиев¹, канд. техн. наук; **Наталья Михайловна Александрова**¹, д-р техн. наук; **Георгий Анатольевич Филиппов**¹, д-р техн. наук, проф.

¹ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина», Москва, Россия

Аннотация. Величина тока и магнитная индукция автомобильных генераторов зависит от содержания углерода в материале статора и величины напряженности магнитного поля. Разработана и внедрена низкоуглеродистая сталь марки 035Ю для изготовления статора свернутого на ребро генератора. Расчетным и экспериментальным методом определено влияние содержания углерода в материале статора на магнитную индукцию и величину тока генератора. Установлено, что снижение содержания углерода в материале статора положительно сказывается на магнитной индукции и величине тока автомобильного генератора.

Ключевые слова: низкоуглеродистая сталь, напряженность магнитного поля, коэрцитивная сила, магнитная индукция, величина тока, статор, генератор

EFFECT OF CARBON CONTENT IN LOW-CARBON STEEL OF GENERATOR STATOR ON MAGNETIC INDUCTION AND CURRENT VALUE

linazar A. Aliev, Natalia M. Alexandrova, Georgy A. Filippov

I.P. Bardin TSNIIChermet, Moscow, Russia

Abstract. The magnitude of the current and magnetic induction of automotive generators depend on the carbon content in the stator material and the magnitude of the magnetic field strength. The effect of reducing the carbon content in the steel of the generator stator on magnetic induction and the magnitude of the current is determined. It was established that the reduction of carbon content has a positive effect on magnetic induction and the magnitude of the stator current of an automobile generator.

Keywords: low carbon steel, stator, generator, magnetic field, magnetic induction

DOI 10.54826/19979258_2023_3_47
УДК 621.771.23.001.57

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОФИЛЯ НА ВОЛНИСТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ОЦИНКОВАННОГО ПРОКАТА

Руслан Рафкатович Адигамов

АО «Северсталь менеджмент», г. Череповец, Россия
E-mail: rradigamov@severstal.com

Аннотация. В статье представлены результаты исследования различных параметров профиля на волнистость поверхности оцинкованного проката. Приведены достоинства и недостатки высотных, шаговых и смешанных параметров профиля волнистости. В ходе исследования влияния каждого из параметров на волнистость, выявлено, что наиболее эффективными параметрами профиля волнистости являются: высотный параметр W_q и шаговый параметр S_w .

Ключевые слова: волнистость, микроволнистость, оцинкованный прокат, плоский прокат, автолист

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF VARIOUS PROFILE PARAMETERS ON THE UNDULATION OF THE SURFACE OF GALVANIZED ROLLED PRODUCTS

Ruslan R. Adigamov

Severstal Management JSC, Cherepovets, Russia

Abstract. The article presents the results of a study of various profile parameters on the undulation of the surface of galvanized rolled products. The advantages and disadvantages of high-altitude, step and mixed parameters of the waviness profile are given. During the study of the influence of each of the parameters on the waviness, it was revealed that the most effective parameters of the waviness profile are: the height parameter W_q and the step parameter S_w .

Keywords: waviness, micro-waviness, galvanized rolled products, flat rolled products, auto leaf

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ДОМЕННОГО ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ РЕКУПЕРАЦИИ ВТОРИЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ОРГАНИЧЕСКОМ ЦИКЛЕ РЕНКИНА

Владислав Алексеевич Налетов¹, канд. техн. наук; **Мария Алексеевна Новикова¹**,
Алексей Юрьевич Налетов¹, д-р техн. наук, проф.

¹*Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, Москва, Россия*
E-mail: jacen23@yandex.ru; nowikowaaa@mail.ru; naletov.a.iu@muctr.ru

Аннотация. На основе эксергетического метода термодинамического анализа и метода математического моделирования представлено решение по повышению энергоэффективности доменного процесса в части повышения доли собственной генерации электроэнергии. Разработанное техническое решение основано на возможности глубокой рекуперации вторичной энергии, представленной потоками теплоты низкого потенциала очищенного доменного газа после утилизационной газовой турбины, водяного пара и воды, используемых в процессе охлаждения кладки доменной печи, а также дымовых газов после подогревателя воздуха (каупера). Все источники теплоты замыкаются на испаритель-перегреватель низкокипящего рабочего тела цикла Ренкина. Показано, что в результате рекуперации потоков теплоты низкого потенциала доменного процесса с печью рабочим объемом 1033 м³ возможно дополнительно генерировать порядка 1,33 МВт электроэнергии, что позволяет повысить долю собственной генерации электроэнергии. Ориентировочный срок окупаемости технического предложения, рассчитанный на основе чистого дисконтированного дохода, составляет порядка 7 лет.

Ключевые слова: доменный процесс, энергоэффективность, потери эксергии, моделирование, цикл Ренкина, низкокипящее рабочее тело, баланс мощности, выработка электроэнергии

IMPROVING BLAST FURNACE PROCESS EFFICIENCY USING ORGANIC RANKINE CYCLE FOR WASTE HEAT RECOVERY

Vladislav A. Naletov¹, **Marya A. Novikova¹**, **Alexei Yu. Naletov¹**

¹*Mendeleyev University of Chemical Technology, Moscow, Russia*

Abstract. This paper describes a solution for improving energy efficiency of the blast furnace process by increasing the share of energy generated on-site. Process design used mathematical modelling as well as thermodynamic exergy analysis. The developed solution is based on significant waste heat recovery from low-energy streams, namely refined blast furnace gas exiting the gas recovery turbine, steam and water used for furnace cooling, and flue gases exiting the air preheaters (stoves). All heat sources are directed to the evaporator-superheater of the Rankine cycle. Results have shown that the recovery of low-potential heat from a 1033 m³ blast furnace can provide approximately 1,33 MW of power, which allows to generate more power on-site. Based on net present value calculations, the payback period of the designed solution was estimated to be around 7 years.

Keywords: waviness, micro-waviness, galvanized rolled products, flat rolled products, auto leaf

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ НАПЛАВКИ Р18Ю ПОСЛЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОТПУСКА И ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ

Юрий Федорович Иванов¹, д-р физ.-мат. наук; **Александр Сергеевич Чапайкин**²;
Татьяна Павловна Гусева²; **Денис Анатольевич Романов**², д-р техн. наук;
Виктор Евгеньевич Громов², д-р физ.-мат. наук

¹*Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия*

²*Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия*

E-mail: yuf55@mail.ru, guseva_tp@sibsiu.ru, chapajkin@sibsiu.ru, romanov_da@physics.sibsiu.ru, gromov@physics.sibsiu.ru

Аннотация. Исследовано влияние высокотемпературного отпуска и электронно-пучковой обработки на трансформацию структуры и свойств наплавочных покрытий Р18Ю, полученных на легированной конструкционной стали 30ХГСА. Исследованы следующие свойства: коэффициент трения, коэффициент износа, нанотвердость и модуль Юнга. Трансформация структуры описана с применением метода сканирующей электронной микроскопии, совмещенной с микрорентгеноспектральным анализом. Применение последовательных режимов создания покрытия: плазменная наплавка в среде азота; плазменная наплавка в среде азота и высокотемпературный отпуск; плазменная наплавка в среде азота, высокотемпературный отпуск и электронно-пучковая обработка приводят к последовательному увеличению исследуемых свойств при комбинации способов наплавки и трансформации покрытия. Масштаб элементов структуры включает микрокристаллические, субмикрокристаллические и нанокристаллические структурные элементы.

Ключевые слова: плазменная наплавка, порошковая проволока, регулируемый термический цикл, быстрорежущие сплавы, высокотемпературный отпуск, импульсный электронный пучок, азот, твердость, износостойкость

TRANSFORMATION OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF R18YU SURFACING AFTER HIGH-TEMPERATURE TEMPERING AND ELECTRON BEAM PROCESS

Yurii F. Ivanov¹, **Alexander S. Chapayikin**², **Tatiana P. Guseva**², **Denis A. Romanov**², **Viktor E. Gromov**²

¹*Institute of High Current Electronics Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia*

²*Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia*

Abstract. The influence of high-temperature tempering and electron beam treatment on the transformation of the structure and properties of R18Yu surfacing coatings obtained on 30KhGSA alloyed structural steel was studied. The following properties were studied: friction coefficient, wear coefficient, nanohardness and Young's modulus. The transformation of the structure is described using the method of scanning electron microscopy combined with micro-X-ray spectral analysis. Application of successive coating creation modes: plasma surfacing in a nitrogen environment; plasma surfacing in a nitrogen environment and high-temperature tempering; plasma surfacing in a nitrogen environment, high-temperature tempering and electron beam processing lead to a consistent increase in the studied properties with a combination of the studied surfacing methods and coating transformation. The scale of structural elements includes microcrystalline, submicrocrystalline and nanocrystalline structural elements.

Keywords: plasma surfacing, flux-cored wire, controlled thermal cycle, high-speed alloys, high-temperature tempering, pulsed electron beam, nitrogen, hardness, wear resistance

DOI 10.54826/19979258_2023_3_80
УДК 669.15-194.2:621.785.735

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ОТЖИГА НА СТРУКТУРНЫЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИКРОЛЕГИРОВАННЫХ ТИТАНОМ АВТОЛИСТОВЫХ СТАЛЕЙ

**Александр Владимирович Гришин, Ирина Гавриловна Родионова,
Александр Александрович Павлов, Маргарита Абрамовна Клячко**

ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», Москва, Россия

E-mail: grishinav87@gmail.com; igrodi@mail.ru; pavlovchermet@yandex.ru; margarita.klyachko@gmail.com

Аннотация. Проведено моделирование различных режимов отжига в агрегатах непрерывного горячего цинкования (АНГЦ) нагартованного проката двух высокопрочных низкоуглеродистых микролегированных титаном сталей. Рассмотрена взаимосвязь температурных и скоростных параметров отжига с механическими свойствами, характеристиками зеренной структуры и выделениями избыточных фаз. Показано, что измельчение зерна и дисперсионное твердение являются основными механизмами упрочнения горячеоцинкованного проката исследованных сталей. Управляя формированием выделений избыточных фаз, в том числе наноразмерных, на разных стадиях технологического цикла можно изменять уровень свойств в широком диапазоне значений. На базе полученных результатов могут быть разработаны технологии производства высокопрочного горячеоцинкованного проката, позволяющие получать прокат различных классов прочности до 340 включительно.

Ключевые слова: микролегированные стали, горячеоцинкованный прокат, автолистовые стали, микроструктура, механические свойства, наноразмерные выделения, карбид титана

EVALUATION OF THE EFFECT OF ANNEALING MODES ON THE STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF TITANIUM-MICROALLOYED AUTOLOAD STEELS

Alexandr V. Grishin, Irina G. Rodionova, Alexandr A. Pavlov, Margarita A. Klyachko

I.P. Bardin TSNIIChermet, Moscow, Russia

Abstract. Modeling of various modes of annealing in continuous hot-dip galvanizing units (CHGU) of cold-worked rolled products of two high-strength low-carbon steels microalloyed with titanium has been carried out. The relationship between temperature and rate parameters of annealing with mechanical properties, characteristics of the grain structure and precipitates of excess phases is considered. It is shown that grain refinement and precipitation hardening are the main mechanisms of strengthening of hot-dip galvanized rolled products of the studied steels. By controlling the formation of precipitates of excess phases, including nanosized ones, at different stages of the technological cycle, it is possible to change the level of properties in a wide range of values. Based on the results obtained, technologies for the production of high-strength hot-dip galvanized rolled products can be developed, which make it possible to obtain rolled products of various strength classes up to 340 and including.

Keywords: microalloyed steels, hot-dip galvanized rolled products, auto sheet steels, microstructure, mechanical properties, nanosized precipitates, titanium carbide

DOI 10.54826/19979258_2023_3_91
УДК 621.789

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ И СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ

Андрей Евгеньевич Балановский¹, канд. техн. наук; **Марина Витальевна Константинова**¹, канд. техн. наук; **Елена Александровна Гусева**¹, канд. техн. наук; **Роман Владимирович Кононенко**¹, канд. техн. наук, **Максим Алексеевич Попов**¹, **Федор Федорович Дерюгин**¹, **Владислав Евгеньевич Бянкин**¹

¹*Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия*
E-mail: kononenko_irk@mail.ru, popovma.kvantum@gmail.com, popovma.kvantum@gmail.com, borck3420@gmail.com

Аннотация. В данной работе продемонстрированы результаты исследования влияния разных способов обработки на микроструктуру конструкционной стали Ст3. Проведено сравнение твердости, полученной при нормализации и закалке с печным нагревом, а также закалке с использованием высококонцентрированных источников тепла. На основании проведенного сравнительного анализа результатов исследования показана перспективность новых способов обработки низкоуглеродистой стали с использованием плазменной дуги при проведении поверхностной закалки и плазменной цементации, а также комбинированного упрочнения на примере стали Ст3 с целью повышения твердости поверхности. Представлено описание получаемых микроструктур.

Ключевые слова: микроструктура, закалка, нормализация, ультразвуковая обработка, плазменная поверхностное упрочнение, микротвердость

THE IMPACT OF PROCESSING METHODS ON THE MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF STRUCTURAL STEEL

Andrey E. Balanovsky¹, **Marina V. Konstantinova**¹, **Elena A. Guseva**¹, **Roman V. Kononenko**¹, **Maxim A. Popov**¹, **Fedor F. Deryugin**¹, **Vladislav E. Byankin**¹

¹*Irkutsk National Reserch Technical University, Irkutsk, Russia*

Abstract. In this paper, the results of the study of the influence of different processing methods on the microstructure of structural steel St3 are demonstrated. The hardness obtained during normalization and quenching with furnace heating, as well as quenching using highly concentrated heat sources, is compared. Based on the comparative analysis of the results of the study, the prospects of new methods of processing low-carbon steel with the use of a plasma arc during surface hardening and plasma cementation, as well as combined hardening on the example of steel St3 in order to increase the hardness of the surface are shown. A description of the resulting microstructures is presented. material and the magnitude of the magnetic field strength. The effect of reducing the carbon content in the steel of the generator stator on magnetic induction and the magnitude of the current is determined. It was established that the reduction of carbon content has a positive effect on magnetic induction and the magnitude of the stator current of an automobile generator.

Keywords: microstructure, quenching, normalization, ultrasonic treatment, plasma surface hardening, microhardness

DOI 10.54826/19979258_2023_3_100
УДК 669.292

ПОЛУЧЕНИЕ ВАНАДИЙ-АЛЮМИНИЕВОЙ ЛИГАТУРЫ ИЗ ОКСИДОВ V_2O_3 И V_2O_5 С ДОПУСТИМЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ПРИМЕСЕЙ

Павел Евгеньевич Стулов; Антон Иванович Волков, канд. хим. наук;
Ульяна Александровна Кологриева

ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», Москва, Россия
E-mail: pavel1411@rambler.ru, rhenium@list.ru, ufowka@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена возможность использования пентаоксида и триоксида ванадия различной чистоты для выплавки ванадиевых лигатур. С использованием метода термогравиметрического анализа изучен процесс алюминотермического восстановления оксидов ванадия. Содержание ванадия в сплавах находится в диапазоне 72,0–76,0 %. Отдельные образцы обладают повышенным содержанием марганца и серы, что делает их не пригодными для использования в качестве легирующих добавок. Показано, что использование смеси пентаоксида и триоксида ванадия позволяет экономить до 10 % алюминиевого порошка и извести.

Ключевые слова: оксиды ванадия; лигатура; алюминий; ванадий; пентаоксид ванадия; триоксид ванадия; алюминотермия; внепечная плавка

PRODUCTION OF VANADIUM-ALUMINUM ALLOY FROM V_2O_3 AND V_2O_5 OXIDES WITH ALLOWABLE IMPURITY CONTENTS

Pavel E. Stulov, Anton I. Volkov, Ulyana A. Kologrieva

FSUE «TsNIIchermet im. I.P. Bardina», Moscow, Russia

Abstract. The possibility of using vanadium pentoxide and trioxide of various purities for the melting of vanadium alloys is considered. Using the method of thermogravimetric analysis, the process of aluminothermic reduction of vanadium oxides was studied. The vanadium content in alloys is in the range of 72.0–76.0%. Some samples have a high content of manganese and sulfur, which makes them unsuitable for use as alloying additives. It has been shown that the use of a mixture of vanadium pentoxide and trioxide allows saving up to 10% of aluminum powder and lime.

Keywords: vanadium oxides; ligature; aluminum; vanadium; vanadium pentoxide; vanadium trioxide; aluminothermy; out-of-furnace melting

DOI 10.54826/19979258_2023_3_107
УДК 669.017

АКТИВИРУЮЩИЕ ФЛЮСЫ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ НА ОСНОВЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ КРЕМНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Антонина Игоревна Карлина¹, канд. техн. наук; **Юлия Игоревна Карлина¹**, канд. техн. наук;
Виталий Александрович Гладких¹, канд. техн. наук

¹НИУ Московский Государственный Строительный Университет, Москва, Россия

E-mail: karlinat@mail.ru, jul.karlina@gmail.com, gladkich_87@mail.ru

Аннотация. Представлены экспериментальные результаты по сварке активирующим флюсом в состав которых входит нанокремнезем получаемых из отходов металлургического производства. В результате использования разработанного состава активирующего флюса, проплавливающаяся способность сварочной дуги увеличилась в 1,5–3 раза, энергоемкость процесса снизилась на 30–50%.

Ключевые слова: переработка отходов, ресурсосбережение, активирующий флюс, дуговая сварка, нанокремнезем

ACTIVATING FLUXES FOR ARC WELDING BASED ON ULTRA-DISPERSE PRODUCTS OF SILICON PRODUCTION WASTE PROCESSING

Antonina I. Karlina¹, **Yulia I. Karlina¹**, **Vitaly A. Gladkikh¹**

¹Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Abstract. Experimental results on welding with activating flux containing nanosilica obtained from metallurgical waste are presented. As a result of using the developed composition of the activating flux, the melting ability of the welding arc increased by 1.5–3 times, the energy intensity of the process decreased by 30–50%.

Keywords: waste recycling, resource saving, activating flux, arc welding, nanosilica



Поздравляем юбиляра – Ольгу Николаевну Чевскую

Многолетний успешный опыт, ответственное отношение к делу позволили ей участвовать в проектах по созданию материалов оборонного назначения, направленных на решение масштабных задач особой государственной важности. О.Н. Чевская была одним из организаторов международного сотрудничества ЦНИИЧермет с учеными Германии, Южной Кореи, Бразилии, США и др., работающими в области создания, исследования и производства современных трубных сталей.

Отмечая вклад в развитие науки и техники России, О.Н. Чевской заслуженно присвоена высокая государственная награда – премия Правительства РФ в области науки и техники, за создание и освоение ресурсосберегающей технологии производства высокоэффективных экономнолегированных высокопрочных сталей повышенной хладостойкости и надежности для карьерного транспорта и механизированных комплексов горнодобывающей отрасли.

Продолжая плодотворную научную деятельность, она активно публикует свои работы в отечественной и зарубежной печати, являясь автором более 80 публикаций, среди которых статьи в научно-технических журналах, доклады на международных конференциях, авторские свидетельства и патенты на изобретения.

Высокий профессионализм, принципиальность в сочетании с чутким и внимательным отношением к людям снискали О.Н. Чевской заслуженный авторитет и уважение среди коллег ЦНИИЧермета, других научных организаций и металлургических предприятий.

О.Н. Чевскую отличают верность традициям и стремление к инновациям. Отдавая работе много сил и творческой энергии, Ольга Николаевна сохраняет оптимизм, остается очаровательной женщиной и мудрым, тонким воспитателем молодого поколения ученых.

Коллектив Центрального научно-исследовательского института черной металлургии им. И.П. Бардина, редколлегия журнала «Проблемы черной металлургии и материаловедения», ООО «Металлургиздат» поздравляют Ольгу Николаевну с юбилейной датой!

Выпускницей механико-технологического факультета МВТУ им. Н.Э. Баумана Ольга Чевская поступила на работу в ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина в 1972 г. И более 50 лет ее трудовая биография связана с металлургической наукой в области создания сталей конструкционного и другого назначения.

За это время пройден плодотворный путь созидания и творчества. Глубокие теоретические знания и практический опыт изучения структурного состояния, проблем разрушения, коррозионных свойств металла позволили ей участвовать в научных исследованиях, проводить сложные комплексные работы, ставить оригинальные эксперименты и др.

О.Н. Чевская на протяжении ряда лет участвовала в создании трубных сталей: высокопрочных, хладостойких, устойчивых против сероводородного растрескивания, коррозионного растрескивания под напряжением, водородного растрескивания и других видов разрушения. С ее участием проводились исследования и создавались стали для глубокой вытяжки, коррозионностойкие аустенитные TRIP-стали высокой прочности, высокопрочные легированные броневые стали и др. Коллективом ученых ЦНИИЧермет при непосредственном участии О.Н. Чевской разработаны критерии надежности трубопровода из стали класса прочности X80–X100; изучены факторы, влияющие на склонность трубных сталей к хрупкому разрушению, коррозионным повреждениям; обобщены механизмы и природа процессов, протекающих на стадиях зарождения и распространения трещины.



Якову Львовичу КАЦУ – 70 лет

В августе 2023 г. исполнилось 70 лет **Якову Львовичу Кацу**, канд. техн. наук, в.н.с. НЦМТ ЦНИИчермет, специалисту в области электроплавки и внепечной обработки стали.

Я.Л. Кац – потомственный металлург, его родители работали с 1951 по 1965 гг. на Кузнецком металлургическом комбинате.

В 1975 г. Я.Л.Кац закончил МИСиС, кафедра «Электрометаллургия стали и ферросплавов». В том же году он начал работать в ЦНИИчермет им. И.П. Бардина, где прошел путь от инженера лаборатории теории металлургических процессов (возглавлявшейся проф. докт. техн наук Г.Н. Окорочковым) до заведующего лабораторией внепечной обработки стали. В 1987 г. Я.Л. Кац защитил диссертацию на тему «Особенности поведения азота, углерода и серы при вакуум-плазменном нагреве металлических расплавов».

Яков Львович Кац принимал участие в выполнении ряда научно-исследовательских работ ЦНИИчермета, среди которых были НИР, посвященные ультразвуковому исследованию металлургических расплавов, разработке технологии плазменной плавки в печах с керамическим тиглем, вакуум-плазменному переплаву прецизионных сплавов и металлизированного сырья, плазменно-дуговому нагреву металла в агрегатах ковш-печь при внепечной обработке и в промежуточном ковше при непрерывной разливке стали.

В 1987–1993 гг. Я.Л. Кац участвовал в поставке, монтаже и освоении первой в мире крупнотоннажной установки ковш-печь постоянного тока на Новолипецком металлургическом комбинате. В 2002–2003 гг. Яков Львович участвует в проведении группой

специалистов ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» под руководством д-ра техн. наук В.А. Синельникова технологического аудита ОАО «НОСТА» и ЗАО «Камасталь».

В 1996–1999 гг. Я.Л. Кац работал инвестиционным аналитиком в Инвестиционной компании «ТРИНФИКО», где осуществлял инвестиционный и экономический анализ деятельности российских и зарубежных предприятий черной и цветной металлургии.

В 2003 г. в связи с началом строительства Литейно-прокатного завода в г. Ярцево (Смоленская обл.) Яков Львович Кац перешел работать в ОАО АХК «ВНИИМЕТМАШ им. академика А.И. Целикова», где в должности заместителя начальника отдела принимал участие в расчете проектных показателей оборудования, разработке технических заданий на его поставку и в проектировании сталеплавильного отделения завода; он руководил пуско-наладкой и вводом в эксплуатацию оборудования сталеплавильного цеха.

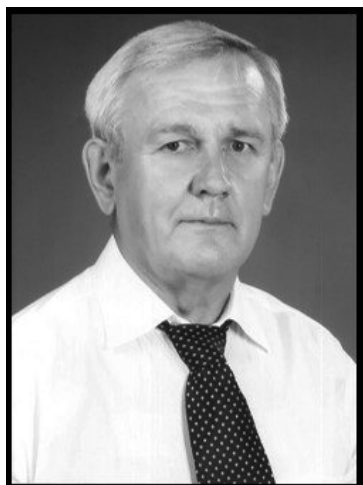
С 2000 по 2010 гг. Я.Л. Кац – доцент кафедры «Металлургия стали и ферросплавов» МИСиС, где преподавал курсы по внепечной обработке стали, корпоративной структуре черной металлургии России, рынку сырья и металлов.

В 2022 г. Яков Львович вернулся к научной работе в ЦНИИчермет им. И.П. Бардина.

В 2011 г. Якову Львовичу Кацу присвоено звание «Почетный работник науки и техники Российской Федерации». Он автор более 140 печатных работ, в том числе статей в журналах металлургического и экономического профиля, более 10 патентов и авторских свидетельств, нескольких монографий.

Многие годы Яков Львович сотрудничает с научно-производственным журналом «Металлург», являясь членом его редакционной коллегии.

Коллектив ФГУП ЦНИИчермет им. И.П. Бардина, редакция и редколлегия журнала «Проблемы черной металлургии и материаловедения», ООО «Металлургиздат» поздравляют юбиляра! Желают ему плодотворных научных решений, успешных проектов, крепкого здоровья и благополучия!



Памяти Александра Ивановича Зайцева

Значительная часть научной деятельности А.И. Зайцева была связана с изучением аморфного состояния металлических сплавов. Им созданы основы количественной теории стеклообразования в металлических сплавах, сформулированы принципы точного описания стабильности аморфных металлических сплавов и путей их последующих превращений, предложены методы прогнозирования физико-химических и механических свойств твёрдых аморфных материалов. Он впервые в мировой науке определил абсолютную и остаточную энтропию аморфных металлических сплавов, а также исследовал другие актуальные направления физической химии.

20 сентября ушел из жизни наш коллега **Александр Иванович Зайцев** – известный учёный, почетный металлург, доктор физико-математических наук, профессор, лауреат премии правительства РФ в области науки и техники, директор Научного центра физико-химических основ и технологий металлургии (НЦФХО) ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина». Биография Александра Ивановича, вся его жизнь – яркий пример служения науке и родному ЦНИИчермет. Окончив с отличием МГУ, учился там же в аспирантуре химического факультета и в 1983-м защитил кандидатскую диссертацию.

А.И. Зайцевым лично и при его непосредственном участии были разработаны различные теоретические подходы и методики, которые использовались на предприятиях металлургической отрасли. В течение многих лет научным коллективом под руководством А.И. Зайцева была получена обширная база данных термодинамических, физико-химических свойств наиболее важных для современных металлургических процессов металлических и шлаковых систем. На основе полученных данных и представлений ассоциированных растворов А.И. Зайцевым создана новая теория металлургических шлаков и расплавов неорганических соединений, что позволило создать адекватные физико-химические методы прогнозирования процессов, протекающих при ковшовой обработке, непрерывной разливке стали.

После окончания аспирантуры все 40 лет его трудовой и научной деятельности были связаны с ЦНИИчермет им. И.П. Бардина, в котором он прошел путь от младшего научного сотрудника до руководителя НЦФХО, трудился в качестве старшего и ведущего научного сотрудника, зав. лабораторией физической химии и заместителя директора Института металловедения и физики металлов. В 1997 г. Александр Иванович защитил докторскую диссертацию на тему «Термодинамика систем с интенсивным межчастичным взаимодействием».

Начиная с 2000-х годов А.И. Зайцев активно подключился к работам в области прикладной металлургии. Внес большой вклад в

освоение производства автолистовых сталей нового поколения, коррозионностойких и износостойких биметаллов, а также в разработку технологий, обеспечивающих повышение коррозионной стойкости сталей различного назначения путем оптимизации их химического состава и структурного состояния.

Следует отметить, что в процессе выполнения указанных работ в 2005 г. в ЦНИИ-чермет произошло слияние двух коллективов – коллектива, занимающегося прикладной наукой, и коллектива, занимающегося фундаментальными исследованиями, в единый центр, названный Центром физической химии, материаловедения, биметаллов и специальных видов коррозии (ЦФМК), который возглавил А.И. Зайцев.

Такое объединение позволило успешно решать все поставленные задачи в перечисленных выше и многих других направлениях, для чего был разработан целый ряд оригинальных, не имеющих аналогов в мировой практике, наукоемких подходов. Разработка и использование комплекса современных методов исследования, включающего физико-химическое, термодинамическое и кинетическое моделирование процессов образования неметаллических включений и фазовых выделений, исследование кинетики многокомпонентного сегрегирования примесей и многие другие, позволили понять механизмы процессов, определяющих конечный уровень свойств металлопродукции. На основе использования разработанных подходов были определены оптимальные значения параметров

химического состава и разработаны высокоэффективные технологии, обеспечивающие прорывное повышение уровня свойств автолистовых сталей различных типов и классов прочности при минимальных затратах.

Многие годы А.И. Зайцев сотрудничал с журналами «Проблемы черной металлургии и материаловедения» и «Металлург», в которых он был членом редколлегии. Он автор сотен научных статей в научных журналах, в том числе в международных изданиях, в качестве эксперта и рецензента он также подготовил отзывы на многие научные статьи. А.И. Зайцевым в соавторстве написаны и выпущены десятки книг: «Современные подходы к повышению коррозионной стойкости и эксплуатационной надежности сталей для нефтепромысловых трубопроводов» (И.Г. Родионова, А.И. Зайцев, О.Н. Бакланова и др.), «Аморфизация металлических расплавов» (А.И. Зайцев, Б.М. Могутнов, Е.Х. Шахпазов), «Физическая химия металлургических шлаков» (А.И. Зайцев, Б.М. Могутнов, Е.Х. Шахпазов), «Комплексные неметаллические включения и свойства стали» (А.И. Зайцев, В.С. Крапошин, И.Г. Родионова, Г.В. Семернин, А.Л. Талис) и другие.

Александр Иванович был профессионалом высокого уровня, ответственным руководителем, отзывчивым и добрым человеком.

Коллектив Института и редакционные коллеги журналов «Проблемы черной металлургии и материаловедения» и «Металлург» выражают глубокие соболезнования родным и близким Александра Ивановича.



Уважаемые коллеги!

Приглашаем Вас опубликовать результаты своих исследований в журнале «Проблемы черной металлургии и материаловедения». Журнал публикует на безвозмездной основе оригинальные статьи и обзоры, связанные с переработкой рудного и техногенного сырья, получением чугуна, стали и ферросплавов, свойствам сплавов на основе железа, материаловедением и физикой металлов, вопросами ресурсосбережения, экологии, стратегии развития и экономической эффективности металлургической отрасли. Издание входит в перечень журналов, рекомендуемых ВАК для публикации трудов соискателей ученых степеней, в электронном виде статьи размещены в научной электронной библиотеке eLibrary.ru, РИНЦ, журнал входит в базу данных «Russian Science Citation Index» (коллекция лучших российских журналов на платформе Web of Science).

Журнал выпускается с 2007 г. Его учредителем является Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина. В 2020 г. был обновлен состав редколлегии, в ее состав были приглашены известные ученые-металлурги. С 2021 г. статьям журнала присваиваются ссылки DOI. С 2022 г. значительно улучшены оформление, структура и полиграфический уровень печатной версии журнала. Для повышения качества публикаций, обеспечения высокого научного уровня, практической значимости, освещения последних научных достижений проводится серьезная работа по привлечению авторов, обсуждению, рецензированию рукописей.

ВНИМАНИЕ! ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА на журнал

«ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ»

Подписку на журнал вы можете оформить:

- На сайте «Объединенного каталога «Пресса России» www.pressa-rf.ru
Подписной индекс – 58999
- Подписаться через интернет-магазин «Пресса по подписке» можно на сайте <https://www.akc.ru>;
- Подписка в редакции.

На электронную версию журнала можно подписаться на сайте
Научной Электронной Библиотеки (НЭБ) <http://www.elibrary.ru>

Приобрести журналы за безналичный расчет можно в ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина». Для оформления подписки на журнал по безналичному расчету необходимо прислать заявку с указанием номера журнала и количества экземпляров, адрес и банковские реквизиты.

Всю информацию следует отправить по электронной почте:

E-mail: ntphm@yandex.ru, a.glezer@mail.ru

Тел. редакции: (495)777-94-98; (495)777-93-02; (495)777-95-13

www.thermet.net