

# 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

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.chermet.net](http://www.chermet.net)

## Подписной индекс 58999

в объединенном каталоге «Пресса России» на сайте [www.pressa-rf.ru](http://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.В. Колясникова

**Верстка** П. Несмелова

## Адрес редакции:

105005 Москва, ул. Радио, дом 23/9, стр. 2, оф. 474

ЦНИИчермет им. И.П. Бардина,

тел. +7 495 777 93 02, 777 95 13 ,

E-mail: [ntphm@yandex.ru](mailto:ntphm@yandex.ru), [rhenium@list.ru](mailto:rhenium@list.ru),

[metallurizdat@yandex.ru](mailto:metallurizdat@yandex.ru)

Подписано в печать 16.09.2024 г.

Формат 60×88 1/8.

Отпечатано в ООО «Металлургиздат»

[www.metallurgizdat.com](http://www.metallurgizdat.com)

Фото на обложке В.П. Чекалова

# ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

## СОДЕРЖАНИЕ

3 • 2024

### ОБЗОРЫ

- Арутюнян Н.А., Колдаев А.В., Степанов А.Б., Дунаев С.Ф.*  
Влияние фазовых выделений на водородное охрупчивание высокопрочных низкоуглеродистых микролегированных сталей ..... 4

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТАЛЛУРГИИ

- Филиппова В.П.*  
Принципы моделирования структуры и свойств бесконечных кристаллических объектов методом молекулярной динамики на ограниченном количестве атомов, применительно к сплавам  $\alpha$ -Fe ..... 21

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ МЕТАЛЛУРГИИ

- Александрова Н.М., Хрулев А.Е.*  
Структурообразование стали при кристаллизации в различных условиях теплоотвода и режимы импульсного охлаждения непрерывнолитой заготовки ..... 36
- Ющук В.В., Комиссаров А.А., Цветков А.С., Мунтин А.В., Червонный А.В., Машарипов С.З., Ершов Н.А., Дагаев С.Е.*  
Исследование стойкости сталей с содержанием хрома до 1% к водородному воздействию ..... 54
- Матросов Ю.И., Колясникова Н.В.*  
Зависимость свойств малоуглеродистых трубных сталей от содержания вредных примесей ..... 68
- Родионова И.Г., Мельниченко А.С., Заркова Е.А., Гладченкова Ю.С., Чиркина И.Н., Гришин А.В., Никольская Л.И.*  
Производство и комплексное исследование холоднокатаного и горячеоцинкованного проката из высокопрочных низкоуглеродистых HSLA сталей, микролегированных титаном, классов прочности 300 – 340 ..... 76
- Балановский А.Е., Конюхов В.Ю., Опарина Т.А.*  
Получение деталей сложной формы при помощи аддитивной технологии наплавки ..... 87
- Курганова О.А., Ишимов А.С., Пинегина А.А. Соловьев В.Н.*  
Моделирование процесса горячей прокатки для разных участков полосы в чистой группе клетей с использованием Gleeble 3800 ..... 96
- Батиенков В.Т., Батиенков Р.В., Скринников Е.В.*  
Влияние вибромеханической обработки и последующей горячей штамповки заготовок на параметры поверхностного слоя изделий ..... 102

### МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- Громов В.Е., Иванов Ю.Ф., Миненко С.С., Юрьев А.Б., Коновалов С.В., Чапайкин А.С., Литовченко И.Ю., Семин А.П.*  
Электронно-микроскопический анализ структурно-фазовых состояний плазменной быстрорежущей наплавки после отпуска и электронно-пучковой обработки ..... 113

*Нечаев Ю.С., Денисов Е.А., Чертаева А.О., Шурыгина Н.А., Александрова Н.М., Филиппова В.П.*  
 Необычные состояния водорода в графитовых нановолокнах с металлическими катализаторами . . . . . 127

*Козырев Н.А., Волков А.И., Шурупов В.М., Ливанова О.В., Козырева О.А.*  
 Изучение качественных характеристик наплавленного вольфрамсодержащей  
 порошковой проволокой слоя металла . . . . . 133

**ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА**

*Бродов А.А., Мухатдинов Н.Х., Семин А.Н., Крюковцева В.В., Мутелика А.О.*  
 Состояние и перспективы черной металлургии России на современном этапе. . . . . 143

**ИНФОРМАЦИЯ**

Юбилей Родионовой Ирины Гавриловны . . . . . 154

Серёгину Александру Николаевичу 70 лет . . . . . 156

# PROBLEMS OF FERROUS METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE

**CONTENTS**

**3 • 2024**

**REVIEWS**

*Arutyunyan N.A., Koldaev A.V., Stepanov A.B., Dunaev S.F.*  
 Effect of phase precipitates on hydrogen embrittlement of high-strength low-carbon microalloyed steels. . . . . 4

**THEORETICAL FOUNDATIONS OF METALLURGY**

*Filippova V.P.*  
 Principles of modeling the structure and properties of infinite crystalline objects by molecular dynamics modeling method using a limited number of atoms, in relation to  $\alpha$ -Fe alloys . . . . . 21

**PRODUCTION PROCESSES IN METALLURGY**

*Alexandrova N.M., Khrulev A.E.*  
 Structure formation of steel during crystallization under different heat removal conditions and modes of pulse cooling of continually cast billet . . . . . 36

*Yushchuk V.V., Komissarov A.A., Tsvetkov A.S., Muntin A.V., Chervonny A.V., Masharipov S.Z., Ershov N.A., Dagaev S.E.*  
 Study of the resistance of steels with chromium content up to 1% to hydrogen exposure . . . . . 54

<i>Matrosov Yu.I., Kolyasnikova N.V.</i> Dependence of the properties of low-carbon pipe steels on the content of harmful impurities. ....	68
<i>Rodionova I.G., Melnichenko A.S., Zarkova E.I., Gladchenkova Y.S., Chirkina I.N., Grishin A.V., Nikolskaya L.I.</i> Production and comprehensive research of cold-rolled and hot-galvanized rolled products from high-strength low-carbon HSLA steel, microalloyed with titanium, strength classes .....	76
<i>Balanovsky A.E., Konyukhov V.Y., Oparina T.A.</i> Obtaining complex shaped parts using additive surfacing technology .....	87
<i>Kurganova O.A., Ishimov A.S., Pinegina A.A., Soloviev V.N.</i> Simulation of the hot rolling process for different strip sections in the finishing stand group using Gleeble 3800 .....	96
<i>Batienkov V.T., Batienkov R.V., Scrinnikov E.V.</i> Influence of vibromechanical treatment and hot forging of blanks on parameters of the surface layer of pieces .....	102

#### **MATERIALS SCIENCE AND NEW MATERIALS**

<i>Gromov V.E., Ivanov Y.F., Minenko S.S., Yuryev A.B., Konovalov S.V., Chapaikin A.S., Litovchenko I.Yu., Semin A.P.</i> Electron-microscopic analysis of structural-phase states of plasma high-cutting surfacing after tempering and electron beam treatment .....	113
<i>Nechaev Yu.S., Denisov E.A., Cheretaeva A.O., Shurygina N.A., Alexandrova N.M., Filippova V.P.</i> Unusual states of hydrogen in graphite nanofibers with metal catalysts .....	127
<i>Kozyrev N.A., Volkov A.I., Shurupov V.M., Livanova O.V., Kozyreva O.A.</i> Study of the qualitative characteristics of a metal layer deposited with tungsten-containing powder wire .....	133

#### **ECONOMICS AND ORGANIZATION OF PRODUCTION**

<i>Brodov A.A., Mukhatdinov N.K., Semin A.N., Kryukovtseva V.V., Mutelika A.O.</i> The state and prospects of the Russian ferrous metallurgy at the present stage .....	143
--	-----

#### **INFORMATION**

I.G. Rodionova jubilee. ....	154
A.N. Seregin is 70 years old .....	156

DOI 10.54826/19979258\_2024\_3\_4  
УДК 669-1

## ВЛИЯНИЕ ФАЗОВЫХ ВЫДЕЛЕНИЙ НА ВОДОРОДНОЕ ОХРУПЧИВАНИЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ МИКРОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

**Наталья Анриевна Арутюнян**<sup>1,2</sup>, канд. физ.-мат. наук, **Антон Викторович Колдаев**<sup>1</sup>,  
канд. физ.-мат. наук, **Алексей Борисович Степанов**<sup>1</sup>, **Сергей Федорович Дунаев**<sup>2</sup>,  
д-р хим. наук, проф.

<sup>1</sup> ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», Москва, Россия

<sup>2</sup> Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: [naarutyunyan@gmail.com](mailto:naarutyunyan@gmail.com), [koldaevanton@gmail.com](mailto:koldaevanton@gmail.com), [alxstp07@gmail.com](mailto:alxstp07@gmail.com),  
[dunaev@general.chem.msu.ru](mailto:dunaev@general.chem.msu.ru)

**Аннотация.** Высокопрочные низкоуглеродистые микролегированные стали широко используются в различных отраслях техники и промышленности благодаря превосходному сочетанию механических свойств, в достижении которых важную роль играет образование фазовых выделений, обуславливающих упрочнение в результате измельчения зерна и дисперсионного твердения. При эксплуатации стальных изделий часто возникают проблемы, связанные с водородным охрупчиванием. При этом наличие фазовых выделений может быть одним из положительных факторов, контролирующих это явление. В настоящее время продолжается поиск методов предотвращения разрушения металлических материалов вследствие водородного охрупчивания. В данном обзоре обобщены и систематизированы результаты исследований различных типов фазовых выделений в качестве ловушек водорода.

**Ключевые слова:** высокопрочные микролегированные стали, водородная хрупкость, фазовые выделения, когерентные выделения, некогерентные выделения, ловушки водорода

---

## EFFECT OF PHASE PRECIPITATES ON HYDROGEN EMBRITTLMENT OF HIGH-STRENGTH LOW-CARBON MICROALLOYED STEELS

**Nataliya A. Arutyunyan**<sup>1,2</sup>, **Anton V. Koldaev**<sup>1</sup>, **Aleksey B. Stepanov**<sup>1</sup>, **Sergey F. Dunaev**<sup>2</sup>

<sup>1</sup> I.P. Bardin TSNIIChermet, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Faculty of Chemistry, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

**Abstract.** High-strength low-carbon microalloyed steels are widely used in various branches of technology and industry due to their excellent combination of mechanical properties, in the achievement of which the formation of phase precipitates plays an important role causing strengthening as a result of grain refinement and dispersion hardening. When using steel products, problems associated with hydrogen embrittlement often arise. Moreover, the presence of phase precipitates is one of the positive factors controlling this phenomenon. Currently, the search for methods to prevent the failure of metallic materials due to hydrogen embrittlement continues. This review summarizes and systematizes the results of studies of various types of phase precipitates as hydrogen traps.

**Keywords:** high-strength microalloyed steels, hydrogen embrittlement, phase precipitates, coherent precipitates, incoherent precipitates, hydrogen traps

DOI 10.54826/19979258\_2024\_3\_21  
УДК 669.539.2

## ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ БЕСКОНЕЧНЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ НА ОГРАНИЧЕННОМ КОЛИЧЕСТВЕ АТОМОВ, ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СПЛАВАМ $\alpha$ -Fe

Варвара Петровна Филиппова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», Москва, Россия  
E-mail: varia.filippova@yandex.ru

**Аннотация.** Для описания взаимодействия атомов, являющихся основными легирующими и примесными компонентами сталей, рассматриваются алгоритмы построения потенциала Леннарда-Джонса с ограничением максимального радиуса межатомного парного взаимодействия. В отличие от традиционного подхода, где кристалл рассматривается как бесконечное число атомов, расположенных в пространстве в периодической закономерности, предлагается рассматривать кристалл состоящим из бесконечного числа одинаковых атомных конфигураций, включающих ограниченное количество атомов (порядка одной или нескольких элементарных кристаллических ячеек). Сравниваются результаты компьютерного моделирования и экспериментальных структурных исследований методом рентгеновской дифрактометрии при исследовании концентрационных зависимостей периода ОЦК кристаллической решетки чистого  $\alpha$ -Fe и сплавов на его основе.

**Ключевые слова:** компьютерное моделирование, потенциалы межатомного парного взаимодействия, кристаллическая структура, точечные дефекты, твердый раствор, железо, рентгеновская дифрактометрия

---

## PRINCIPLES OF MODELING THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF INFINITE CRYSTALLINE OBJECTS BY MOLECULAR DYNAMICS MODELING METHOD USING A LIMITED NUMBER OF ATOMS, IN RELATION TO $\alpha$ -FE ALLOYS

Varvara P. Filippova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> I.P. Bardin TSNIIChermet, Moscow, Russia

**Abstract.** To describe interatomic pair interactions of usual alloying and impurity components of steels, there are developed algorithms constructing the Lennard-Jones potential with a limited maximum radius of action. Contrary to the traditional approach considering a crystal as an infinite number of atoms arranged periodically in the space, it is proposed to consider the crystal as consisting of an infinite number of identical atomic configurations of a limited number of the atoms (including one or more elementary crystal cells). The molecular dynamics modeling results have been compared with the experimental data on structural studies by X-ray diffractometry of the concentration dependences of the BCC crystal lattice period of pure  $\alpha$ -Fe and alloys.

**Keywords:** computer modeling, interatomic pair interaction potentials, crystal structure, point defects, solid solution, iron, X-ray diffractometry

DOI 10.54826/19979258\_2024\_3\_36  
УДК 669.18

## СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ СТАЛИ ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ТЕПЛОТВОДА И РЕЖИМЫ ИМПУЛЬСНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ

Наталья Михайловна Александрова<sup>1</sup>, Александр Евгеньевич Хрулев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», Москва, Россия

<sup>2</sup>ООО «ТРАКС», г. Мытищи, Московская область, Россия

E-mail: n-alexandrova@yandex.ru

**Аннотация.** Рассмотрены результаты лабораторного исследования влияния различных условий теплоотвода на структурообразование сталей при кристаллизации. Показано преимущество затвердевания расплава при интенсивном импульсном теплоотводе, по сравнению с медленным монотонным, выраженное в улучшении макро- и микроструктуры стали слитка. На базе экспериментальных опытов и расчетов разработана модель определения параметров импульсного теплоотвода в зоне вторичного охлаждения при кристаллизации непрерывнолитых заготовок на промышленных МНЛЗ.

**Ключевые слова:** кристаллизация стали, импульсный теплоотвод, макро- и микроструктура, коэффициент теплоотдачи, непрерывная разливка, зона вторичного охлаждения

---

## STRUCTURE FORMATION OF STEEL DURING CRYSTALLIZATION UNDER DIFFERENT HEAT REMOVATION CONDITIONS AND MODES OF PULSE COOLING OF CONTINUALLY CAST BILLET

Nataliya M. Alexandrova<sup>1</sup>, Alexandr E. Khrulev<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>I.P. Bardin Central Research Institute of Ferrous Metallurgy, Moscow, Russia

<sup>2</sup>«TRAX» LLC, Mytishchi, Moscow region, Russia

**Abstract.** The results of a laboratory study of the influence of various heat removal conditions on the structure formation of steels during crystallization are considered. The advantage of solidification of the melt with intensive pulsed heat removal, compared with slow monotonic heat removal, is shown, expressed in the improvement of the macro- and microstructure of the steel ingot. Based on experimental experiments and calculations, a model has been developed for determining the parameters of pulsed heat removal in the secondary cooling zone during the crystallization of continuously cast billets on industrial continuous casters.

**Keywords:** steel crystallization, pulsed heat removal, macro- and microstructure, heat transfer coefficient, continuous casting, secondary cooling zone



## ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ СТАЛЕЙ С СОДЕРЖАНИЕМ ХРОМА ДО 1% К ВОДОРОДНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

**Вячеслав Васильевич Ющук<sup>1\*</sup>, Александр Александрович Комиссаров<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, **Антон Сергеевич Цветков<sup>2</sup>**, канд. техн. наук, **Александр Вадимович Мунтин<sup>3</sup>**, канд. техн. наук, **Алексей Владимирович Червонный<sup>3</sup>**, канд. техн. наук, **Саддам Зохирджонович Машарипов<sup>1</sup>**, **Никита Александрович Ершов<sup>1</sup>**, **Сергей Евгеньевич Дагаев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Университет науки и технологий МИСИС, Москва, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> АО «Объединенная металлургическая компания», Москва, Россия

E-mail: slava\_yushchuk@mail.ru, komissarov.alex@gmail.com, tsvetkov\_as@spbstu.ru, muntin\_av@omk.ru, chervonnyj\_av@vsw.ru, masharipov.saddam@mail.ru, dagaev\_se@spbstu.ru

**Аннотация.** Объектом исследования являются стали опытных составов 10ХБ, 10Ф, 10Б после различных режимов термической обработки. Целью работы является сравнительная оценка исследуемых сталей по представленным изменениям механических характеристик при водородном воздействии в среде газообразного водорода под давлением 7 МПа после различных режимов термообработки. Показано, что для сталей 10ХБ, 10Б, 10Ф после закалки от 910 °С и отпуска 550-680 °С было достигнуто состояние, обладающее высокой стойкостью к водородному охрупчиванию, выраженное повышенными показателями относительного удлинения в среде водорода ( $\beta\delta_5$ ) при сохранении высоких прочностных значений ( $\beta\sigma_t$ ,  $\beta\sigma_s$ ) по отношению к испытанным контрольным образцам на воздухе.

**Ключевые слова:** бесшовные трубы, низколегированные стали, водородное охрупчивание

---

## STUDY OF THE RESISTANCE OF STEELS WITH CHROMIUM CONTENT UP TO 1% TO HYDROGEN EXPOSURE

**Vyacheslav V. Yushchuk<sup>1\*</sup>, Alexander A. Komissarov<sup>1</sup>, Anton S. Tsvetkov<sup>2</sup>, Alexander V. Muntin<sup>3</sup>, Alexey V. Chervonny<sup>3</sup>, Saddam Z. Masharipov<sup>1</sup>, Nikita A. Ershov<sup>1</sup>, Sergey E. Dagaev**

<sup>1</sup> University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup> JSC United Metallurgical Company, Moscow, Russia

**Abstract.** Study of the resistance of steels with chromium content up to 1% to hydrogen exposure. The object of the study is steel of experimental compositions 10ХБ, 10Ф, 10Б after various heat treatment conditions. The purpose of the work is a comparative assessment of the steels under study based on the presented changes in mechanical characteristics under hydrogen exposure in a hydrogen gas environment under a pressure of 7 MPa after various heat treatment modes. It has been shown that for steels 10ХБ, 10Б, 10Ф after quenching from 910 °C and tempering at 550-680 °C, a state was achieved that is highly resistant to hydrogen embrittlement, expressed by increased relative elongation in a hydrogen environment ( $\beta\delta_5$ ) while maintaining high strength values ( $\beta\sigma_t$ ,  $\beta\sigma_s$ ) in relation to the tested control samples in air.

**Keywords:** seamless pipes, low alloy steels. hydrogen embrittlement



DOI 10.54826/19979258\_2024\_3\_68  
УДК 669.14.018.41

## ЗАВИСИМОСТЬ СВОЙСТВ МАЛОУГЛЕРОДИСТЫХ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ ОТ СОДЕРЖАНИЯ ВРЕДНЫХ ПРИМЕСЕЙ

Юрий Иванович Матросов<sup>1</sup>, д-р техн. наук, Наталья Валерьевна Колясникова<sup>1</sup>,  
канд. техн. наук

<sup>1</sup>ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина», Москва, Россия  
E-mail: nkolyasnikova@yandex.ru

**Аннотация.** Рассмотрено влияние примесей серы и фосфора на механические свойства низколегированной трубной стали повышенной прочности марки 09Г2ФБ, микролегированной ванадием и ниобием. Дана оценка влияния модифицирующих добавок РЗМ и силикокальция на форму неметаллических включений MnS и интенсивность их влияния на величину ударной вязкости металла. Показано положительное влияние снижения содержания вредных примесей серы и фосфора на величину ударной вязкости исследованных сталей в области вязкого разрушения.

**Ключевые слова:** низколегированная сталь, содержание серы и фосфора, механические свойства, ударная вязкость, работа зарождения ( $a_3$ ) и развития ( $a_p$ ) трещины

---

## DEPENDENCE OF THE PROPERTIES OF LOW-CARBON PIPE STEELS ON THE CONTENT OF HARMFUL IMPURITIES

Yuri I. Matrosov<sup>1</sup>, Natalia V. Kolyasnikova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>TsNIIchermet named after I.P. Bardin, Moscow, Russia

**Abstract.** The influence of sulfur and phosphorus impurities on the mechanical properties of low-alloy pipe steel of increased strength grade 09G2FB, microalloyed with vanadium and niobium, is considered. The influence of modifying additives of rare-earth metals and silico-calcium on the shape of non-metallic inclusions of MnS and the intensity of their influence on the value of impact toughness of the metal are estimated. The positive effect of reducing the content of harmful sulfur and phosphorus impurities on the value of impact toughness of the studied steels in the region of viscous fracture is shown.

**Keywords:** low-alloy steel, sulfur and phosphorus content, mechanical properties, toughness, crack generation ( $a_3$ ) and development ( $a_p$ ) work

## ПРОИЗВОДСТВО И КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХОЛОДНОКАТАНОГО И ГОРЯЧЕОЦИНКОВАННОГО ПРОКАТА ИЗ ВЫСОКОПРОЧНЫХ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ HSLA СТАЛЕЙ, МИКРОЛЕГИРОВАННЫХ ТИТАНОМ, КЛАССОВ ПРОЧНОСТИ 300 – 340

**Ирина Гавриловна Родионова, Александр Семенович Мельниченко,  
Елена Ивановна Заркова, Юлия Сергеевна Гладченкова, Ирина Николаевна Чиркина,  
Александр Владимирович Гришин, Любовь Ивановна Никольская**

*ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина», Москва, Россия  
E-mail: igrodi@mail.ru, asmeln@yandex.ru, zarkova\_eibs@mail.ru, jubykova@yandex.ru,  
chirkina77@mail.ru, grishinav87@gmail.com, l.nikolskaya@chermet.net*

**Аннотация.** Произведены установочные партии холоднокатаного и горячеоцинкованного проката из автолистовых сталей классов прочности 300 и 340. Проведено комплексное исследование металла установочных партий. Показано, что комплекс механических характеристик проката установочных партий с большим запасом соответствует EN-10268:2013 и EN-10346:2015 при соблюдении ранее разработанных требований к химическому составу и технологии производства. Выявлено, что пластичность проката из HSLA стали, микролегированной титаном, оказалась значительно выше, чем из стали, микролегированной ниобием. Так, значения относительного удлинения для проката из стали HC340LA, микролегированной титаном, составили 23 – 28,5 %, а для проката из стали HC340LA, микролегированной ниобием, – 21 – 22,5 %, что соответствует нижнему пределу требований стандарта ( $\geq 21\%$ ).

**Ключевые слова:** автолистовые стали, высокопрочные микролегированные стали, холоднокатаный прокат, горячеоцинкованный прокат, непрерывный отжиг, механические свойства, микроструктура, наноразмерные выделения, карбид титана

---

## PRODUCTION AND COMPREHENSIVE RESEARCH OF COLD- ROLLED AND HOT-GALVANIZED ROLLED PRODUCTS FROM HIGH-STRENGTH LOW-CARBON HSLA STEEL, MICROLLOYED WITH TITANIUM, STRENGTH CLASSES 300 - 340

**Irina G. Rodionova, Alexandr S. Melnichenko, Elena I. Zarkova, Yuliya S. Gladchenkova,  
Irina N. Chirkina, Alexandr V. Grishin, Lyubov I. Nikolskaya**

*I.P. Bardin TSNIIChermet, Moscow, Russia*

**Abstract.** Abstract: Installation batches of cold-rolled and hot-dip galvanized steel were produced from sheet steel of strength classes 300 and 340. A comprehensive study of the metal of the installation batches was carried out. It has been shown that the complex of mechanical characteristics of rolled installation batches complies with EN-10268:2013 and EN-10346:2015 with a large margin, subject to previously developed requirements for the chemical composition and production technology. It was revealed that the ductility of rolled products from HSLA steel microalloyed with titanium turned out to be much higher than that of steel microalloyed with niobium. Thus, the relative elongation values for rolled steel HC340LA microalloyed with titanium were 23 – 28.5%, and for rolled steel HC340LA microalloyed with niobium, 21 – 22.5%, which corresponds to the lower limit of the standard requirements ( $\geq 21\%$ ).

**Keywords:** auto sheet steels, high-strength micro-alloy steels, cold-rolled steel, hot-dip galvanized steel, continuous annealing, mechanical properties, microstructure, nano-sized precipitates, titanium carbide

DOI 10.54826/19979258\_2024\_3\_87  
УДК 621.791

## ПОЛУЧЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ПРИ ПОМОЩИ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НАПЛАВКИ

**Андрей Евгеньевич Балановский**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, **Владимир Юрьевич Конюхов**<sup>1</sup>,  
канд. техн. наук, **Татьяна Александровна Опарина**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия*  
E-mail: [fuco.64@mail.ru](mailto:fuco.64@mail.ru), [konyukhov\\_vyu@mail.ru](mailto:konyukhov_vyu@mail.ru), [tatianaop@ex.istu.edu](mailto:tatianaop@ex.istu.edu)

**Аннотация.** Рассмотрены возможности использования сварки в защитных газах плавящимся электродом для изготовления деталей сложной формы. Представлены результаты наплавки деталей типа квадрат и цилиндр.

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, сварка, наплавка, сварочный ток, наплавленный валик, структура

---

## OBTAINING COMPLEX SHAPED PARTS USING ADDITIVE SURFACING TECHNOLOGY

**Andrey E. Balanovsky**<sup>1</sup>, **Vladimir Y. Konyukhov**<sup>1</sup>, **Tatyana A. Oparina**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia*

**Abstract.** The possibilities of using welding in protective gases with a floating electrode for the manufacture of parts of complex shape are considered. The results of surfacing of square and cylinder type parts are presented.

**Keywords:** additive technologies, welding, surfacing, welding current, surfaced roller, structure

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ДЛЯ РАЗНЫХ УЧАСТКОВ ПОЛОСЫ В ЧИСТОВОЙ ГРУППЕ КЛЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GLEEBLE 3800

Ольга Александровна Курганова<sup>1</sup>, Алексей Сергеевич Ишимов<sup>1</sup>, канд. техн. наук,  
Анастасия Алексеевна Пинегина<sup>1</sup>, Владимир Николаевич Соловьев<sup>2</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Новолипецкий металлургический комбинат, г. Липецк, Россия

<sup>2</sup>Липецкий государственный технический университет, г. Липецк, Россия

E-mail: kurganova\_oa@nlmk.com

**Аннотация.** Один из путей интенсификации производства горячего проката на НШСГП – повышение скорости прокатки основной части полосы, которое приведет к увеличению температуры конца прокатки от головного участка полосы к концевому. Повышение температуры и скорости деформации в чистовой группе клетей, по сравнению с существующей технологией, может привести к неравномерности структуры и свойств по длине полосы. С использованием Gleeble 3800 проведено физическое моделирование процесса горячей прокатки в чистовой группе клетей для головного и концевого участков полосы с учетом разных условий прокатки. Результаты физического моделирования прокатки полос с ускорением 0,02 и 0,08 м/с<sup>2</sup> показывают, что структура всех образцов ферритно-перлитная без нерекристаллизованных зерен феррита. Прокатка с большим ускорением позволит увеличить производительность НШСГП без риска образования несоответствующей продукции.

**Ключевые слова:** горячая прокатка, чистовая группа, обратный температурный клин, модуль Hydrawedge Gleeble 3800, размер зерна феррита

---

## SIMULATION OF THE HOT ROLLING PROCESS FOR DIFFERENT STRIP SECTIONS IN THE FINISHING STAND GROUP USING GLEEBLE 3800

Olga A. Kurganova<sup>1</sup>, Aleksey S. Ishimov<sup>1</sup>, Anastasiya A. Pinegina<sup>1</sup>, Vladimir N. Soloviev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Novolipetsk Metallurgical Plant, Lipetsk, Russia

<sup>2</sup>Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

**Abstract.** One of the ways to intensify the production of hot rolled products at NShSGP is to increase the rolling speed of the main part of the strip, which will lead to an increase in the temperature of the end of rolling from the head section of the strip to the end section. An increase in temperature and deformation rate in the finishing group of stands, compared to existing technology, can lead to uneven structure and properties along the length of the strip. Using Gleeble 3800, physical modeling of the hot rolling process was carried out in the finishing group of stands for the head and end sections of the strip, taking into account different rolling conditions. The results of physical modeling of rolling strips with accelerations of 0.02 and 0.08 m/s<sup>2</sup> show that the structure of all samples is ferrite-pearlite without unrecrystallized ferrite grains. Rolling with greater acceleration will increase the productivity of NShSGP without the risk of the formation of non-conforming products.

**Keywords:** hot rolling, finishing group, reverse temperature wedge, Hydrawedge Gleeble 3800 module, ferrite grain size

## ВЛИЯНИЕ ВИБРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ ЗАГОТОВОК НА ПАРАМЕТРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ИЗДЕЛИЙ

**Виктор Тимофеевич Батиенков**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц., **Роман Викторович Батиенков**<sup>2</sup>,  
канд. техн. наук, доц., **Евгений Валерьевич Скринников**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.

<sup>1</sup> Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова,  
г. Новочеркасск, Ростовская обл., Россия

<sup>2</sup> Российский технологический университет (МИРЭА), Москва, Россия  
E-mail: v.batiенkov@mail.ru, batiенkov\_roman@mail.ru, scrinnikov08@rambler.ru

**Аннотация.** Поверхностный слой порошковых материалов, получаемых методом горячей штамповки (ГШ), характеризуется наличием большого количества дефектов структуры. Вибрационная обработка (ВО) пористых заготовок с нанесением графита уменьшает поверхностную пористость, создает смазочную пленку и может улучшить качество поверхностного слоя изделий после ГШ. С этой целью было выполнено исследование влияния ВО заготовок на структуру и свойства поверхностного слоя изделий. Эксперименты были проведены на заготовках ролик-подборщика в условиях серийного производства ООО «Ростсельмаш». В результате была исследована структура, определены твердость поверхностного слоя изделий после ГШ с закалкой и износостойкость. Установлено: уменьшение степени локального обезуглероживания поверхностного слоя, повышение твердости и износостойкости.

**Ключевые слова:** горячая штамповка, вибрационная обработка, поверхностный слой, пористые заготовки

---

## INFLUENCE OF VIBROMECHANICAL TREATMENT AND HOT FORGING OF BLANKS ON PARAMETERS OF THE SURFACE LAYER OF PIECES

**Viktor T. Batiенkov**<sup>1</sup>, **Roman V. Batiенkov**<sup>2</sup>, **Evgeniy V. Scrinnikov**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia

<sup>2</sup> MIREA - Russian Technological University, Moscow, Russia

**Abstract.** The surface layer of powder materials obtained by hot stamping (HS). It is characterized by the presence of a large number of structural defects. Vibration treatment of porous workpieces with graphite application reduces the surface porosity, creates a lubricating film and can improve the quality of the surface layer of products after GSH. To this end, a study was carried out on the effect of the blanks on the structure and properties of the surface layer of products after GSH. The experiments were carried out on the blanks of the roller picker in the conditions of serial production by Rostselmash. The structure was investigated, the hardness of the products after GSH with hardening and wear resistance were determined. A decrease in the degree of local decarburization of the layer, an increase in hardness and wear resistance were found.

**Keywords:** hot-forging, vibration treatment, surface layer, sintered billets

DOI 10.54826/19979258\_2024\_3\_113  
УДК 621.791.92:621.727:620.178

## ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ ПЛАЗМЕННОЙ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ НАПЛАВКИ ПОСЛЕ ОТПУСКА И ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ

**Виктор Евгеньевич Громов**<sup>1</sup>, д-р физ.-мат. наук, **Юрий Федорович Иванов**<sup>2</sup>, д-р физ.-мат. наук, **Сергей Сергеевич Миненко**<sup>1</sup>, **Алексей Борисович Юрьев**<sup>1</sup>, д-р техн. наук, **Сергей Валерьевич Коновалов**<sup>1</sup>, д-р техн. наук, **Александр Сергеевич Чапайкин**<sup>1</sup>, **Игорь Юрьевич Литовченко**<sup>3</sup>, д-р физ.-мат. наук, **Александр Петрович Семин**<sup>1</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup> Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

<sup>2</sup> Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия

<sup>3</sup> Институт физики прочности и материаловедения, г. Томск, Россия

E-mail: gromov@physics.sibsiu.ru, yufi55@mail.ru, mss121278@mail.ru, rector@sibsiu.ru, konovalov@sibsiu.ru, thapajkin.as@yandex.ru, litovchenko@spti.tsu.ru, syomin53@bk.ru

**Аннотация.** Методами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии проанализированы структурно-фазовые состояния и дефектная субструктура системы «быстрорежущая наплавка стали Р2М9-подложка сталь (30ХГСА)» в исходном состоянии, после высокотемпературного отпуска и электронно-пучковой обработки.

**Ключевые слова:** наплавленный слой, электронная микроскопия, переходная зона, отпуск, импульсный электронный пучок, структура, свойства

---

## ELECTRON-MICROSCOPIC ANALYSIS OF STRUCTURAL-PHASE STATES OF PLASMA HIGH-CUTTING SURFACING AFTER TEMPERING AND ELECTRON BEAM TREATMENT

**Viktor E. Gromov**<sup>1</sup>, **Yuri F. Ivanov**<sup>2\*</sup>, **Sergey S. Minenko**<sup>1</sup>, **Alexey B. Yuryev**<sup>1</sup>, **Sergey V. Konovalov**<sup>1</sup>, **Alexander S. Chapaikin**<sup>1</sup>, **Igor Y. Litovchenko**<sup>3</sup>, **Alexander P. Semin**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

<sup>2</sup> Institute of High Current Electronics SB RAS, Tomsk, Russia

<sup>3</sup> Institute of Strength Physics and Materials Science, Tomsk, Russia

**Abstract.** Scanning and transmission electron microscopy methods were used to analyze the structural-phase states and defective substructure of the system “high-speed surfacing of R2M9 steel-substrate steel (AISI 4140)” in the initial state, after high-temperature tempering and electron beam treatment.

**Keywords:** deposited layer, electron microscopy, transition zone, tempering, pulsed electron beam, structure, properties

## НЕОБЫЧНЫЕ СОСТОЯНИЯ ВОДОРОДА В ГРАФИТОВЫХ НАНОВОЛОКНАХ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ КАТАЛИЗАТОРАМИ

Юрий Сергеевич Нечаев<sup>1</sup>, д-р физ.-мат. наук, Евгений Александрович Денисов<sup>2</sup>, канд. физ.-мат. наук, Алиса Олеговна Черетаева<sup>3</sup>, Надежда Александровна Шурыгина<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук, Наталья Михайловна Александрова<sup>1</sup>, д-р техн. наук, Варвара Петровна Филиппова<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук

<sup>1</sup> ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина», Москва, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Тольяттинский государственный университет, Тольятти, Россия

E-mail: yuri1939@inbox.ru

**Аннотация.** При помощи разработанной методологии анализа термодесорбционных и термогравиметрических спектров водорода в углеродных материалах изучены экспериментальные данные по «супер» хранению «обратимого» (атомное отношение (H/C) ≤ 4) и «необратимого» ((H/C) ≈ 1) водорода в «ноу-хау» активированных графитовых нановолокнах с металлическими катализаторами (ГНВМК). Впервые определены (как из термодесорбционных, так и из термогравиметрических данных) характеристики основного десорбционного пика «необратимого» водорода в ГНВМК, отвечающего кинетическому процессу первого порядка, а именно: температура наибольшей скорости десорбции ( $T_{\max} = 914\text{--}923\text{ K}$ ), энергия активации процесса десорбции ( $Q \approx 40\text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ ), предэкспоненциальный фактор константы скорости процесса десорбции ( $K_0 \approx 2\cdot 10^{-1}\text{ с}^{-1}$ ), количество выделившегося водорода (~7 вес.%, т.е. (H/C) ≈ 1). Рассмотрена физика процессов десорбции «необратимого» и «обратимого» водорода в ГНВМК, в т.ч. необычные (в определенном смысле) состояния водорода.

**Ключевые слова:** наносистема, графитовые нановолокна с металлическими катализаторами; «супер» хранение водорода; характеристики и физика сорбционных процессов; необычные состояния водорода

---

## UNUSUAL STATES OF HYDROGEN IN GRAPHITE NANOFIBERS WITH METAL CATALYSTS

Yuri S. Nechaev<sup>1</sup>, Evgeny A. Denisov<sup>2</sup>, Alisa O. Cheretaeva<sup>3</sup>, Nadezhda A. Shurygina<sup>1</sup>, Natalia M. Alexandrova<sup>1</sup>, Varvara P. Filippova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> I.P. Bardin TSNIIChermet, Moscow, Russia

<sup>2</sup> St. Peterburg State University, St. Peterburg, Russia

<sup>3</sup> Togliatti State University, Togliatti, Russia

**Abstract.** Using the developed methodology for the analysis of thermodesorption and thermogravimetric spectra of hydrogen in carbon materials, experimental data on the "super" storage of "reversible" (atomic ratio (H/C) ≤ 4) and "irreversible" ((H/C) ≈ 1) hydrogen in the "know-how" of activated graphite nanofibers with metallic catalysts (GNFMC). Were studied for the first time, the characteristics of the main desorption peak of "irreversible" hydrogen in GNVMC, corresponding to the kinetic process of the first order, were determined (both from thermodesorption and thermogravimetric data), namely: the temperature of the highest desorption rate ( $T_{\max} = 914\text{--}923\text{ K}$ ), the activation energy of the desorption process ( $Q \approx 40\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ), the pre-exponential the rate constant factor of the desorption process ( $K_0 \approx 2\cdot 10^{-1}\text{ s}^{-1}$ ), the amount of hydrogen released (~7 wt.%, i.e. (H/C) ≈ 1). The physics of the processes of desorption of "irreversible" and "reversible" hydrogen in GNVMC, including unusual (in a certain sense) hydrogen states, is considered.

**Keywords:** nanosystem, graphite nanofibers with metal catalysts; "super" hydrogen storage; characteristics and physics of sorption processes; unusual hydrogen states



## ИЗУЧЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПЛАВЛЕННОГО ВОЛЬФРАМСОДЕРЖАЩЕЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ СЛОЯ МЕТАЛЛА

**Николай Анатольевич Козырев**<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф., **Антон Иванович Волков**<sup>1</sup>, канд. хим. наук, **Вадим Михайлович Шурупов**<sup>2</sup>, **Ольга Викторовна Ливанова**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, **Ольга Анатольевна Козырева**<sup>2</sup>, канд. пед. наук, доц.

<sup>1</sup>ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», Москва, Россия

<sup>2</sup>Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия  
E-mail: n.kozyrev@chermet.net

**Аннотация.** Исследовано влияние на качественные характеристики наплавленного слоя замены в порошковой проволоке металлического вольфрама и графита на невосстановленный из оксидов вольфрам и углеродфторсодержащий материал. Исследована микроструктура наплавленного слоя, проведен рентгеноспектральный анализ неметаллических включений. Установлено, что наплавленный металл обоих образцов характеризуется высокой степенью чистоты по неметаллическим включениям. Сплав, полученный с использованием невосстановленного из оксидов вольфрама и углеродфторсодержащего материала, имеет более однородную микроструктуру.

**Ключевые слова:** сталь, упрочнение, наплавка, порошковая проволока, вольфрам, углеродфторсодержащий материал

---

## STUDY OF THE QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF A METAL LAYER DEPOSITED WITH TUNGSTEN-CONTAINING POWDER WIRE

**Nikolay A. Kozyrev**<sup>1</sup>, **Anton I. Volkov**<sup>1</sup>, **Vadim M. Shurupov**<sup>2</sup>, **Olga V. Livanova**<sup>1</sup>, **Olga A. Kozyreva**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>TsNIIchermet named after I.P. Bardin, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

**Abstract.** The effect on the qualitative characteristics of the deposited layer of the replacement of powdered metallic tungsten and graphite in a powder wire with non-reduced tungsten oxides and carbon fluorinated material during surfacing with a powder wire is investigated. The microstructure of the deposited layer was investigated, and X-ray spectral analysis of nonmetallic inclusions was performed. It was found that the deposited metal of both samples is characterized by a high degree of purity for non-metallic inclusions. The alloy obtained using tungsten oxide with a carbon-fluorine-containing material has a more uniform microstructure.

**Keywords:** steel, hardening, surfacing, powder wire, tungsten, carbon-fluorinated material

DOI 10.54826/19979258\_2024\_3\_143  
УДК 669.18:621.746.27

## **СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ РОССИИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ**

**Анатолий Александрович Бродов**, канд.экон.наук, **Насибулла Хадиатович Мухатдинов**, канд.техн.наук, **Александр Николаевич Семин**, **Варвара Викторовна Крюковцева**, **Алексей Олегович Мутелика**

*ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», Москва, Россия*  
*E-mail: economy@chermet.net*

**Аннотация.** Черная металлургия России занимает пятое место в мире по выплавке стали. В статье представлена динамика производства за 2017-2023 гг. чугуна, стали, готового проката и труб. В статье также приводится динамика и анализ производства, экспорта и импорта готового проката в сортаменте (плоский, сортовой прокат и полуфабрикаты) и труб стальных по странам потребителям и поставщикам. Проведен анализ спроса и металлопотребления с учетом сложившейся ситуации в мире и стране из-за принятых антироссийских санкций, представлен анализ инвестиций в черную металлургию и в крупнейшие предприятия отрасли.

**Ключевые слова:** сталь, прокат, трубы, экспорт, импорт, потребление, инвестиции, фискальные нагрузки

---

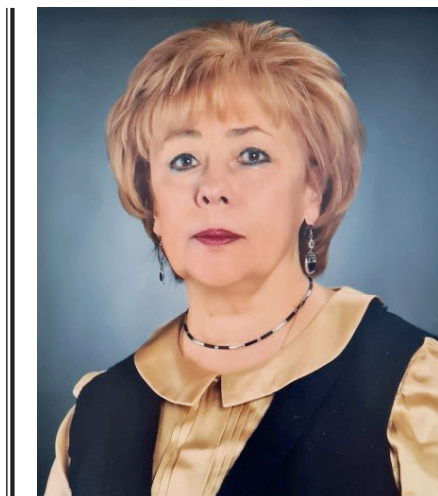
## **THE STATE AND PROSPECTS OF THE RUSSIAN FERROUS METALLURGY AT THE PRESENT STAGE**

**Anatoly A. Brodov**, **Nasibulla K. Mukhatdinov**, **Alexander N. Semin**,  
**Varvara V. Kryukovtseva**, **Alexey O. Mutelika**

*I.P. Bardin TSNIIChermet, Moscow, Russia*

**Abstract.** The metallurgy of Russia Federation takes the 5th place in the world's steelmaking. The article presents the dynamics and analysis of the production of the main ferrous metallurgical products in Russia (cast iron, steel, finished products and pipes). Also in the article presents information about assortment of finished rolled products (flat, long products and semi-finished products) and steel pipes by consumer and supplier countries. There is the analysis of demand and metal consumption, with in the current situation in the world and the country due to the adopted anti-Russian sanctions, provided an analysis of investments in metallurgy and in the largest enterprises of the industry.

**Keywords:** steel, rolled products, pipes, exports, imports, consumption, investments, tax load



**Юбилей  
Ирины Гавриловны РОДИОНОВОЙ  
известного российского  
ученого – металловеда,  
доктора технических наук,  
заместителя директора НЦФХО  
ЦНИИчермет им. И.П. Бардина**

Ирина Гавриловна Родионова после окончания Московского Института Стали и Сплавов (МИСиС) по специальности «Физика металлов» с 1977 по 1984 гг. работала на кафедре металлостроения стали и высокопрочных сплавов. Занимала должности инженера, младшего научного сотрудника. В 1984 г. защитила кандидатскую диссертацию на тему «Технологические факторы старения стали 08Ю». С 1984 по 2005 гг. работала в Институте качественных сталей ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина». Прошла путь от младшего научного сотрудника до заведующего сектором. В 2005 г. защитила докторскую диссертацию по специальности 05.16.01 на тему «Разработка коррозионностойких биметаллических материалов с высокопрочным соединением слоев путем использования электрошлаковой наплавки».

С 2005 г. по настоящее время Ирина Гавриловна Родионова является заместителем директора научного центра ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина».

Основное направление научной деятельности И. Г. Родионовой – разработка научных основ получения биметаллов с коррозионно-стойким плакирующим слоем, технологии их производства, в том числе методом электрошлаковой наплавки, и освоение созданных технологий на практике. Результаты работы позволили решить задачу обеспечения нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей

промышленности качественно новой отечественной металлопродукцией.

Со второй половины 1990-х гг. одним из основных направлений деятельности И.Г. Родионовой стало исследование факторов, определяющих коррозионную стойкость стали для нефтепромысловых трубопроводов, тепловых сетей и других видов оборудования. Было установлено, что прогресс в развитии черной металлургии, обусловленный, в первую очередь, разработкой и внедрением новых технологий выплавки и обработки металла, при недостаточно корректном выборе технологических параметров может приводить к загрязнению стали неметаллическими включениями, отрицательно влияющими на ряд важнейших свойств металла: коррозионную стойкость, качество поверхности, усталостные и другие характеристики. В частности, проведенными исследованиями было доказано, что основной причиной аномально высоких скоростей коррозии нефтепромысловых трубопроводов, тепловых сетей и некоторых других видов оборудования является загрязненность стали неметаллическими включениями особого типа, вносимыми в сталь в процессе ковшовой обработки. Такие включения получили название коррозионно-активных неметаллических включений (КАНВ). Были разработаны и внедрены специальные методы, позволившие определить источники их возникновения и скорректировать технологические параметры выплавки и внепечной обработки для обеспечения чистоты стали по включениям этого типа. С учетом внедрения новых футеровочных

материалов и технологических приемов обработки жидкой стали, работы в данном направлении продолжают до настоящего времени. Результаты последних исследований, выполненных под руководством Ирины Гавриловны, показывают, что неметаллические включения в современных сталях характеризуются более сложным химическим и фазовым составом и оказывают различную степень влияния на коррозионную стойкость сталей.

С 2001 г. И.Г. Родионова принимает активное участие в разработке технологии и освоении промышленного производства новых классов, типов и марок автолистовых сталей. Решение поставленных задач потребовало использования оригинальных наукоемких подходов. Они основаны на возможности получения необходимого структурного состояния и заданного уровня свойств стали путем управления процессами формирования выделений неметаллических избыточных фаз, состоянием твердого раствора, границ зерен, форм присутствия примесей на всех этапах производства. Было создано более 30 новых марок автолистовых сталей, производство которых освоено в ПАО «ММК» и ПАО «Северсталь».

За исследования в этой области в 2013 г. И.Г. Родионова была удостоена Премии Правительства РФ в области науки и техники.

Еще одним направлением в области автолистовых сталей было создание так называемых кассетных технологий, суть которых заключается в возможности получения автолистовых сталей различных классов прочности из стали одного химического состава. Данная задача также была успешно решена в рамках проведения работ с ПАО «ММК», что привело к получению значительного экономического эффекта, в том числе за счет возможности выполнения металлургическим комбинатом заказов небольшого объема.

В настоящее время под руководством И.Г. Родионовой в рамках договора с ПАО «ММК» проводится работа по повышению коррозионной стойкости автолистовых ста-

лей. Проведенные исследования показали, что коррозионная стойкость автолистовых сталей одной марки и класса прочности может отличаться в 2–5 раз. Корректировка технологии получения таких сталей, в том числе в процессе их обработки в агрегатах АНО и АНГЦ, позволит в значительной степени повысить коррозионную стойкость автолистовых сталей без увеличения стоимости их производства.

Ирина Гавриловна Родионова является признанным и широко известным ученым не только в РФ, но и за рубежом. Автор более 400 научных трудов, в том числе трех монографий и более 65 патентов. Под ее руководством защищены 15 диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук и одна на соискание ученой степени доктора технических наук. В ближайшее время готовятся к защите две диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук и одна на соискание ученой степени доктора технических наук.

С 2019 г. Ирина Гавриловна преподает в НИТУ «МИСиС» на кафедре функциональных наносистем и высокотемпературных материалов, регулярно читает курсы повышения квалификации в ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина» по различным направлениям металлургии. Она член двух диссертационных советов, член редакционных коллегий журналов «Металлург», «Проблемы черной металлургии и материаловедения», член ГАК по специальности «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» в НИТУ «МИСиС», постоянный участник российских и международных научно-технических конференций.

И.Г. Родионова участвовала в реализации 15 проектов РФФИ, выполнила более 20 работ по Целевым программам Минпромнауки РФ и Минобрнауки РФ, большого числа (более 150) прямых хозяйственных договоров с предприятиями металлургической и металлопотребляющих отраслей промышленности.

*Коллектив ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», редакция и редакционная коллегия журнала, коллеги и друзья поздравляют Ирину Гавриловну с юбилеем и желают ей отличного здоровья и успешного продолжения плодотворной научной деятельности!*

## **СЕРЁГИНУ АЛЕКСАНДРУ НИКОЛАЕВИЧУ – 70 ЛЕТ**



В сентябре 2024 г. исполнилось 70 лет А.Н. Серёгину – известному учёному, руководителю, организатору-практику в области технологий ферросплавного производства.

Александр Николаевич Серёгин родился в 1954 г. в Москве. По окончании математический специализированной школы при Академии педагогических наук получил специальность «программист-вычислитель». С 1971 г. обучался на Химическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова (специальность «Химик»). В аспирантуре МГУ занимался изучением термодинамических свойств оксидов, там же по совместительству работал младшим научным сотрудником, и в 1983 г. защитил кандидатскую диссертацию по теме: «Термодинамические свойства низших оксидов ванадия» (химические науки).

После окончания аспирантуры в 1979 г. Александр Николаевич был распределён на работу в ЦНИИчермет им. И.П. Бардина в лабораторию ферросплавов и спецлигатур. С ЦНИИчермет у А.Н. Серёгина связана большая часть профессиональной жизни. В нём он проработал почти 40 лет, пройдя путь от младшего научного сотрудника до учёного секретаря института, заведующего лабораторией, заместителя директора Института новой металлургической технологии, заместителя генерального директора по науке, директора Института ферросплавов. Некоторое время Александр Ни-

колаевич возглавлял отдел внешнеэкономической и коммерческой деятельности.

Большая заслуга А.Н.Серёгина в сохранении и развитии ферросплавного направления в ЦНИИчермет, возрождении Института ферросплавов, существовавшего с начала образования ЦНИИчермет по 1960 г. С 1998 по 2017 гг. Серёгин А.Н. возглавлял Лабораторию ферросплавов и специальных лигатур. За это время лаборатория вновь стала самостоятельным структурным подразделением. С 1 мая 2002 г. лаборатория выделена из ИНМТ с образованием Исследовательского центра «Ферросплавное производство и переработка техногенного сырья» (ФПТС). В 2009 г. Центру ФПТС было присвоено имя академика Н.П. Лякишева.

С 1 июня 2014 г. ФПТС преобразован в Институт ферросплавов и техногенного сырья им. Н.П. Лякишева (ИФТС). В 2013–2015 гг. было получено финансирование и впервые за долгие годы проведено техническое перевооружение с ремонтом помещений, обновлением и закупкой нового оборудования для ИФТС. Институт был укомплектован самым современным оборудованием для проведения исследований химического состава, технологических характеристик, а также агрегатами для опытных технологических испытаний, моделирующих весь технологический процесс переработки железосодержащих, ферросплавных материалов, начиная от подготовки и обогащения сырья и заканчивая выплавкой металлопродукции.

Можно выделить несколько направлений научных разработок, выполненных в этот период под его руководством: исследования и подготовка предложений по ликвидации импортной зависимости России от зарубежных поставок сырья и ферросплавов (марганец, хром, титан, ниобий, РЗМ); проведение исследований, разработка технологий и проведение экспертиз по ванадиевому производ-



ству; разработка и внедрение сепаратора для разделения несмешивающихся жидкостей. Отдельно стоит отметить практически новое направление – исследование и создание технологий переработки техногенного сырья.

Много внимания в его работах уделено решению проблем использования отечественного сырья, предложены новые подходы к получению ферросплавов. В частности, для получения высококачественных марганцевых ферросплавов из российских бедных марганцевых руд предложены оригинальные подходы, позволяющие как улучшить существующие технологии (например, использование вращающейся дуговой печи), так и создать принципиально новые – двухстадийная плавка (с применением алюминия), силикотермическая и алюминиотермическая внепечная плавка. Проработаны идеи «металлургического обогащения» углеродистым феррохромом, использование ферросилиция вместо ферросиликохрома при получении низкоуглеродистого феррохрома. При производстве ванадиевых лигатур предложен способ переработки конвертерного шлака с металлизацией и вос-

становлением, позволяющий получать сплав, пригодный для выплавки любых низколегированных сталей. Разработана и освоена промышленная технология прямого получения феррованадия из зол ТЭС. Предложена комбинированная технология силикотермического восстановления ванадия из отходов. В производстве ферротитана предложен способ получения сплава с содержанием титана до 56% из оксидного сырья, а также другие актуальные технологические разработки.

Александр Николаевич Серёгин активно участвовал в общественной работе, был ответственным за проведение научно-технического семинара лаборатории, являлся участником сборных спортивных команд ЦНИИчермет и ИНМТ. Он награждён медалями «В память 850-летия Москвы» (1997 г.), «Лауреат ВВЦ» (2000 г.). Минпромторгом России в 2009 г. награждён Почётной грамотой Министерства, а в 2014 г. ему присвоено звание «Почётный металлург».

Серёгин А.Н. – автор более 130 научных публикаций, в т.ч. монографии «Ферросплавы. Серьёзно и не очень».

*Коллектив Научного центра комплексной переработки сырья им. Н.П. Лякишева, редакция журнала «Проблемы чёрной металлургии и материаловедения» сердечно поздравляют Александра Николаевича с 70-летием, желают ему крепкого здоровья, успеха в работе, удачи в делах и благополучия в семье!*



### Памяти Бориса Михайловича Могутнова

26 августа скончался наш коллега Борис Михайлович Могутнов, д-р хим. наук, профессор, советник генерального директора ЦНИИчермет им. И.П. Бардина, ученый, широко известный в научных кругах в областях физической химии и химической термодинамики материалов.

Борис Михайлович Могутнов приобрел известность в материаловедении благодаря исследованиям в области термохимии реакций, протекающих при распаде мартенсита. Одним из первых он использовал методы термодинамических расчетов в многокомпонентных системах, базирующиеся на представлении о конкуренции фаз, для анализа характера упорядочения и природы упрочняющих интерметаллических соединений.

В результате исследований Б.М. Могутнова были раскрыты природа и закономерности реакций, протекающих при старении мартенсита, сформулированы термодинамические принципы прогнозирования процессов фазообразования, которые послужили основой для создания новых марок мартенситно-стареющих сталей.

Впервые в мировой науке Б.М. Могутнов вместе с коллегами определил абсолютную и конфигурационную энтропии аморфных металлических сплавов в интервале от 0 К до температур кристаллизации.

Научное наследие Бориса Михайловича – сотни научных трудов, а также десятки последователей – ученых, которые сегодня работают во многих исследовательских организациях и учебных институтах.

Многие годы Борис Михайлович Могутнов являлся заместителем главного редактора журнала «Проблемы черной металлургии и материаловедения», активно занимался его развитием и формированием.

***Коллектив ЦНИИчермет и редколлегия журнала выражают соболезнование коллегам, родным и близким Бориса Михайловича.***





## 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](http://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](mailto:ntphm@yandex.ru),**

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

**[www.chermet.net](http://www.chermet.net)**