

# ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

СОДЕРЖАНИЕ

3 • 2017

## *Теоретические основы металлургии*

**А. Л. Талис, В. С. Крапошин, Н. Симич-Лафицкий, А. И. Зайцев**  
Структурно-симметричные основы образования сростка неметаллических включений в сталях .....5

**А. Н. Никулин, М. А. Сережкин**  
Аналитическое моделирование винтовой прокатки заготовок их поперечной осадкой с привлечением теории колебаний .....13

## *Технологические процессы металлургии*

**С. А. Якорнов, А. М. Паньшин, П. И. Грудинский, В. Г. Дюбанов,  
Л. И. Леонтьев, П. А. Козлов, Д. А. Ивакин**  
Особенности процесса разложения феррита цинка известью в пыли электродуговой плавки стали .....29

**А. М. Лонгинов, В. В. Тиняков, В. В. Соснин, Н. А. Шурыгина,  
И. В. Неклюдов, Ю. Л. Корнев, А. Н. Божесков**  
Производство бездефектной непрерывнолитой колёсной заготовки марки ER7 европейского стандарта NF EN 13262+A1 .....34

**И. А. Кожевникова, А. В. Кожевников, Н. Л. Болобанова**  
Исследование и раскрытие механизма возникновения вибраций в клетях непрерывного стана холодной прокатки .....39

**Р. Р. Дема, С. П. Нефедьев, М. В. Харченко, А. В. Зотов,  
М. А. Леванцевич, Н. Н. Максимченко, Е. В. Пилипчук**  
Формирование на рабочих поверхностях пар смешанного трения функциональных покрытий из цветных металлов и сплавов методом деформационного плакирования с целью повышения их работоспособности .....43

## *Материаловедение и новые материалы*

**А. А. Ефимов, А. А. Холодный, И. П. Шабалов, Ю. И. Матросов,  
В. Я. Великоднеев, М. Ю. Матросов**  
Структурные превращения при охлаждении малоуглеродистых низколегированных трубных сталей .....49

**Г. А. Филиппов, О. В. Ливанова, Д. М. Соловьев, И. П. Шабалов**  
Сравнительный анализ влияния способа формовки на комплекс механических свойств и сопротивление разрушению металла электросварных труб большого диаметра .....56

**А. С. Гриншпон, Е. М. Васенина, А. И. Седышев, М. А. Ткачук, Г. А. Филиппов**  
Исследование кинетики распада аустенита при охлаждении колесных сталей различных марок .....66

**П. А. Мишнев, Е. Н. Кройтор, А. В. Нищик, И. Г. Родионова**  
Влияние параметров термообработки и натяжения полосы на механические свойства холоднокатаных двухфазных феррито-мартенситных сталей .....71

**В. Е. Громов, А. А. Юрьев, Ю. Ф. Иванов, Н. А. Попова,  
О. А. Перегудов, А. М. Глезер, С. В. Коновалов**  
Анализ механизмов деформационного упрочнения рельсовой стали в процессе длительной эксплуатации .....76

**Я. С. Кузнеченко, И. П. Шабалов, А. А. Холодный, Ю. И. Матросов, В. Я. Великоднеев**  
Центральная сегрегационная неоднородность и сопротивление водородному растрескиванию листов из трубных сталей. Часть 2. Влияние термомеханической обработки .....85

## *Экономика и организация производства*

**А. А. Павлов**  
Оценка эффективности применения новых высокопрочных сталей в качестве основного слоя биметаллов, получаемых по технологии электрошлаковой наплавки .....95

## *Информация*

II международная конференция "Стандартизация — ключевой инструмент повышения экономической эффективности металлургической отрасли России" ..... 102

К 70-летию Виктора Евгеньевича Громова ..... 103

# ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

---

## **Главный редактор**

канд. техн. наук В.А.Углов

## **Заместители главного редактора:**

Акад. РАН, докт. техн. наук проф. О.А.Баннных;  
акад. РАН, докт. техн. наук проф. Л.И.Леонтьев;  
докт. хим. наук проф. Б.М.Могутнов;  
акад. РАН, докт. техн. наук проф. Ю.В.Цветков

## **Редакционная коллегия:**

канд. эконом. наук А.А.Бродов; докт. физ.-мат. наук В.В.Виноградов;  
докт. физ.-мат. наук проф. А.М.Глезер;  
канд. эконом. наук С.А.Гурова; канд. техн. наук Анд.Д.Дейнеко;  
Г.Н.Еремин; докт. физ.-мат. наук проф. А.И.Зайцев;  
докт. техн. наук проф. А.Б.Коростелев; докт. техн. наук проф. Л.В.Коваленко;  
докт. техн. наук проф.К.Л.Косырев; докт. техн. наук А.В. Куклев;  
канд. техн. наук В.В.Мальцев; докт. техн. наук проф. Б.В.Молотилов;  
канд. техн. наук Ю.Д.Морозов; канд. техн. наук Т.П.Москвина;  
канд. техн. наук В.М.Некрасов; докт. техн. наук А.Н.Никулин;  
канд. техн. наук О.Г.Оспенникова; канд. техн. наук А.В.Пинчук;  
докт. техн. наук проф. И.Г.Родионова;  
канд. техн. наук Б.А.Сарычев; А.Е.Сёмин;  
канд. техн. наук проф. Б.А.Сивак; О.А.Скачков;  
акад. РАН, докт. техн. наук проф. Л.А.Смирнов; А.С.Ушаков;  
докт. техн. наук, проф. Г.А.Филиппов; канд. техн. наук В.П.Чекалов;  
докт. техн. наук И.П.Шабалов.

## **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: bmogutnov@mail.ru, NTPHM@yandex.ru, bmogutnov@mtu-net.ru

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

## **ISSN 1997-9258**

Журнал зарегистрирован в агентстве "РОСПЕЧАТЬ" 23.01.2008 г.  
Регистрационный индекс 58999.

© ЦНИИчермет им. И.П. Бардина 2017

# PROBLEMS OF FERROUS METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE

CONTENTS

3 • 2017

## *Fundamentals of metallurgy*

**A. L. Talis, V. S. Kraposhin, N. Simitch-Lafitskiy, A. I. Zaitsev**  
Structural-symmetrical foundations for the formation of spliced (core-shell) nonmetallic inclusions in steels.....3

**A. N. Nikulin, M. A. Serezhkin**  
Analytical modeling of screw rolling of billets by their transverse deformation with invoking of the vibration theory .....13

## *Production processes in metallurgy*

**S. A. Yakornov, A. M. Pan'shin, P. I. Grudinskiy, V. G. Dyubanov, L. I. Leont'ev, P. A. Kozlov, D. A. Ivakin**  
Special features of the process of decomposition of zinc ferrite by lime in dusts of electric-steelmaking.....29

**A. M. Longinov, V. V. Tinyakov, V. V. Sosnin, N. A. Shurygina, I. V. Neklyudov, Yu. L. Kornev, A. N. Bozheskov**  
Production of defect-free continuously cast wheel blanks of the ER7 brand of the European NF EN 13262+A1 standard.....34

**I. A. Kozhevnikova, A. V. Kozhevnikov, N. L. Bolobanoba**  
Research and disclosing of the mechanism of origination of vibrations in the stands of a continuous cold rolling mill.....39

**R. R. Dema, S. P. Nefedyev, M. V. Kharchenko, A. V. Zotov, M. A. Levantsevich, N. N. Maksimchenko, Y. V. Pilipchuk**  
Forming on the working surfaces of mixed friction pairs functional coatings from nonferrous metals and alloys by deformation cladding for the purpose of raising their working capacity.....43

## *Materials science and new materials*

**A. A. Efimov, A. A. Kholodnyy, I. P. Shabalov, Yu. I. Matrosov, V. Ya. Velikodnev, M. Yu. Matrosov**  
Structure transformations in the course of cooling of low-carbon low-alloy pipe steels .....49

**G. A. Filippov, O. V. Livanova, D. M. Solov'ev, I. P. Shabalov**  
Comparative analysis of the effect of the way of forming on the complex of mechanical properties and resistance to fracture of the metal of electric welded pipes of large diameter.....56

**A. S. Grinshpon, E. M. Vasenina, A. I. Sedyshev, M. A. Trachuk, G. A. Filippov**  
Investigation of the kinetics of austenite decomposition on cooling of wheel steels of various types .....66

**P. A. Mishnev, E. N. Kroytor, A. V. Nishchik, I. G. Rodionova**  
Influence of the parameters of thermal treatment and strip tension on the mechanical properties of cold-rolled two-phase ferritic-martensitic steels.....71

**V. E. Gromov, A. A. Jur'ev, Ju. F. Ivanov, N. A. Popova, O. A. Peregudov, A. M. Glezer, S. V. Konovalov**  
Analysis of deformation strengthening mechanisms of rail steel during long-term operation .....76

**Ya. S. Kuznechenko, I. P. Shabalov, A. A. Kholodnyy, Yu. I. Matrosov, V. Ya. Velikodnev**  
Centerline segregation inhomogeneity and resistance to hydrogen induced cracking of rolled plates from pipe steels. Part 2. Influence of thermo-mechanical treatment .....85

## *Economy and organization of production*

**A. A. Pavlov**  
Estimation of the efficiency of using new high-strength steels for main layers of bimetal produced by the electroslag build-up welding technology .....95

## *Information*

II International conference "Standardization – the key tool for increasing economic efficiency of the metallurgical branch of Russia" ..... 102

To Victor Evgen'evich Gromov's seventieth anniversary ..... 103

УДК 548.0:669.14.018

## **Структурно-симметричные основы образования сростка неметаллических включений в сталях**

**А. Л. Талис<sup>1</sup>, В. С. Крапошин<sup>2</sup>, Н. Симич-Лафицкий<sup>2</sup>,  
А. И. Зайцев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова Российской академии наук (ИНЭОС РАН), г. Москва. E-mail: talishome@mail.ru.*

<sup>2</sup> *МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва. E-mail: kraposhin@gmail.com.*

<sup>3</sup> *ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина", г. Москва. E-mail: aizaitsev@yandex.ru.*

Для определения структурно-симметричных условий сращивания двух кристаллов предложено представлять кристаллические структуры компонентов сростка как объединения не имеющих общих вершин спиралей, составленных из триангулированных полиэдров. Все рассматриваемые спирали из триангулированных полиэдров допускают трансформации симметрично-возможной переброской ребер в спиральные объединения тетраэдров по граням. Сросток двух кристаллов определяется как единая  $(r, R)$ -система Делоне, образуемая спиралью из полиэдров срастающихся кристаллов и расположенного между ними промежуточного слоя. Деформации ребер полиэдров исходных компонентов сростка ограничены величиной 10 % в соответствии с известными критериями плавления по максимально допустимому термическому удлинению межатомных (межионных) связей. Если единая система Делоне не возникает, то структурно - симметричных условий для сшивки нет.

Ключевые слова: кристаллографическая симметрия, система Делоне, кристаллические сростки, неметаллические включения, сталь

---

Aiming to the determination of structural-symmetrical conditions for splice (intergrowth) of two crystals, crystal structure of both spliced components is represented as a join of spirals composed from triangulated polyhedra, the said spirals are not sharing common vertices. All considered spirals allow transformations into spiral joining of tetrahedra in the face-to-face mode by the symmetrical admissible edge flipping. The splice of two crystals is determined as the common single  $(r, R)$ -Delaunay system formed by polyhedral spirals of spliced crystals and an intermediate layer between two crystals. Edge strains of initial polyhedra in the crystal splice are bounded above by 10% value in accordance to the known melting criteria by the maximal permitted thermal elongation of interatomic (interionic) bonds. Where the common single  $(r, R)$ -Delaunay system does not formed the structural-symmetrical conditions to crystals splicing are absent.

Keywords: crystallographic symmetry, Delaunay system, crystal splicing, nonmetallic inclusions, steel.

УДК 621.771.65: 534.1

# Аналитическое моделирование винтовой прокатки заготовок их поперечной осадкой с привлечением теории колебаний

А. Н. Никулин<sup>1</sup>, М. А. Сережкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г. Москва. E-mail: iqs12@yandex. ru.

<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

Осуществлено аналитическое моделирование винтовой прокатки заготовок их поперечной осадкой с привлечением теории колебаний. Рассмотрены механизм формирования в заготовке структурно-деформационных элементов с образованием пластичных и жестких зон, их участие и роль в процессе деформации. С учетом наличия пластичных и жестких зон в заготовке определено развитие в ней при деформации упругих и диссипативных сил в виде отношения коэффициентов  $\varepsilon/\omega$ , которое было использовано в качестве оценочного параметра при аналитическом исследовании влияния технологических факторов и режимов деформации на напряженное состояние металла при осадке. Использование теории колебаний для моделирования и анализа винтовой прокатки позволило получить новые научные представления о технологическом процессе.

Ключевые слова: поперечная осадка, винтовая прокатка, заготовка, колебания, напряжения, масштабный фактор, очаг деформации, обжатие, осевое разрушение.

Analytical modeling was performed of screw rolling of billets by their transverse deformation with invoking of the vibration theory. The mechanism was considered of formation in the billets of structure-deformation elements with generation of plastic and rigid zones, their involvement and role in the course of deformation. Taking into account the presence in the billet of plastic and rigid zones, development of elastic and dissipative forces was defined in the course of the billet deformation in the form of the relation of coefficients  $\varepsilon/\omega$ . This relation was applied as the evaluation parameter for analytical research of influence of technology factors and the modes of deformation on the metal stressed state at deformation. The use of the vibration theory for modeling and analysis of screw rolling allowed receiving new scientific ideas about the technological process.

Keywords: transverse deformation, screw rolling, billet, vibrations, stresses, scale factor, deformation center, draft, axial fracture.

УДК 669.054.83

## **Особенности процесса разложения феррита цинка известью в пыли электродуговой плавки стали**

**С. А. Якорнов<sup>1</sup>, А. М. Панышин<sup>1</sup>, П. И. Грудинский<sup>2</sup>,  
В. Г. Дюбанов<sup>2</sup>, Л. И. Леонтьев<sup>2</sup>, П. А. Козлов<sup>1,3</sup>, Д. А. Ивакин<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ООО “УГМК-Холдинг”, г. Верхняя Пышма, Свердловская область, Успенский проспект, 1.

<sup>2</sup>ФГБУН “Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова” Российской академии наук, г. Москва. E-mail: [dyuba@imet.ac.ru](mailto:dyuba@imet.ac.ru)

<sup>3</sup>ПАО “Челябинский цинковый завод”, г. Челябинск. E-mail: [pak@zinc.ru](mailto:pak@zinc.ru)

Исследованы особенности процесса разложения феррита цинка известью при прокатке пыли электросталеплавильного производства. Выполнены лабораторные опыты с использованием чистых реактивов и смесей техногенных материалов. Результаты лабораторных опытов проверены с помощью укрупнённых экспериментов. Полученные данные подтвердили возможность разложения феррита цинка известью при температуре 1000 °С с образованием оксида цинка и двухкальциевого феррита. Использованный метод имеет ряд технологических преимуществ по сравнению с известной технологией вельцевания цинксодержащих металлургических пылей.

Ключевые слова: феррит цинка, феррит кальция, оксид кальция, оксид цинка, отгонка свинца, вельц-процесс.

---

Special features were investigated of the process of decomposition of zinc ferrite by lime in the course of calcinating dusts of electric - steelmaking. Laboratory experiments with the use of pure chemical agents and mixes of technogenic materials were carried out. The results of the laboratory experiments were verified by means of enlarged experiments. The obtained data confirmed possibility of decomposition of zinc ferrite by lime at temperature 1000 °C with formation of zinc oxide and dicalcium ferrite. The applied method has a number of technological advantages in comparison with the known Waelz process of zinc containing metallurgical dusts.

Keywords: zinc ferrite, calcium ferrite, calcium oxide, zinc oxide, lead sublimation, Waelz process.

УДК 669.18.146.5

## **Производство бездефектной непрерывнолитой колёсной заготовки марки ER7 европейского стандарта NF EN 13262+A1**

**А. М. Лонгинов<sup>1,2</sup>, В. В. Тиняков<sup>1,2</sup>, В. В. Соснин<sup>1</sup>,  
Н. А. Шурыгина<sup>1</sup>, И. В. Неклюдов<sup>3</sup>, Ю. Л. Корнев<sup>3</sup>,  
А. Н. Божесков<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П. Бардина”, г. Москва. E-mail: info@corad.ru

<sup>2</sup> ООО “КОРАД” 105005, г. Москва, а/я18, E-mail: tvv@corad.ru

<sup>3</sup> АО “Волжский трубный завод”, г. Волжский, Волгоградская область.  
E-mail: vtz@vtz.ru

Исследован дефект железнодорожного колеса, выявленный при ультразвуковом контроле. Металлографические исследования показали, что дефект состоит из строчек неметаллических включений, содержащих оксид алюминия. По серийной технологии металл раскисляли алюминием на выпуске и в процессе ковшовой обработки. Разработана новая технология производства непрерывнолитой заготовки колёсной стали с переносом добавок алюминия на заключительный этап ковшовой обработки и поддержании в процессе ковшовой обработки минимально возможного содержания алюминия в жидкой стали. Колёса, изготовленные из металла, произведенного по опытной технологии, не имели дефектов размером более 1 мм. Неметаллические включения в металле опытной технологии имели меньшие размеры и более благоприятную морфологию, чем в серийном металле.

Ключевые слова: колёсная сталь, непрерывнолитая заготовка, ультразвуковой контроль, раскисление, неметаллические включения, алюминий, кальций, карбид кальция.

The defect of a wheel revealed at ultrasonic control was investigated. Metallographic examinations showed that the defect is comprised of lines of the nonmetallic inclusions containing aluminium oxide. According to the accepted production technology the metal was deoxidized with aluminium in the course of tapping and ladle treatment. A new production technology of continuously cast ingots from a wheel steel has been developed in which aluminium additions are moved to the final stage of ladle treatment with maintenance of minimum possible aluminium content in the liquid steel in the course of ladle treatment process. The wheels manufactured from the metal that was produced according to the experimental technology had no defects of the size more than 1 mm. The nonmetallic inclusions in the metal of the experimental technology had smaller sizes and more favorable morphology than serial metal.

Keywords: wheel steel, continuously cast ingot, ultrasonic control, deoxidation, nonmetallic inclusions, aluminium, calcium, calcium carbide.

УДК 621.771

## **Исследование и раскрытие механизма возникновения вибраций в клетях непрерывного стана холодной прокатки**

**И. А. Кожевникова, А. В. Кожевников, Н. Л. Болобанова**

*ФГБУ ВО “Череповецкий государственный университет”,  
г. Череповец, Вологодская обл. E-mail: [kojevnikovaia@chsu.ru](mailto:kojevnikovaia@chsu.ru); [avk7777@bk.ru](mailto:avk7777@bk.ru);  
[bolobanovanl@chsu.ru](mailto:bolobanovanl@chsu.ru)*

На основе анализа промышленных данных авторами раскрыт механизм возникновения резонансных вибраций в рабочих клетях станов холодной прокатки. Сделаны выводы о причинах возникновения поверхностных дефектов и пробуксовок валков.

Ключевые слова: холодная прокатка, вибрации в рабочих клетях

---

Using industrial data as a base, the authors have disclose the mechanism of occurrence of resonant vibrations (the chatter phenomenon) in the operating stands of cold sheet rolling mills. The conclusions have been reached about the causes for the occurrence of surface defects and slip of rolls.

Keywords: cold rolling, vibration in operating stands.



# Формирование на рабочих поверхностях пар смешанного трения функциональных покрытий из цветных металлов и сплавов методом деформационного плакирования с целью повышения их работоспособности

Р. Р. Дема<sup>1</sup>, С. П. Нефедьев<sup>1</sup>, М. В. Харченко<sup>1</sup>, А. В. Зотов<sup>2</sup>,  
М. А. Леванцевич<sup>3</sup>, Н. Н. Максимченко<sup>3</sup>, Е. В. Пилипчук<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО "Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова", г. Магнитогорск, Челябинская обл. E-mail: kharchenko.mv@bk.ru, www.magtu.ru, demarr78@mail.ru

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО "Тольяттинский государственный университет", г. Тольятти, Самарская обл.

<sup>3</sup> Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь.

<sup>4</sup> Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь.

Повышение качества, надежности и конкурентоспособности изделий машиностроения неразрывно связано с решением проблемы повышения ресурса работоспособности трибосопряжений. Известно, что реальный ресурс работы деталей триботехнического назначения в значительной степени зависит от несущей способности сопрягаемых рабочих поверхностей. При большом разнообразии условий работы этих деталей во всех случаях наиболее нагруженным оказывается поверхностный слой. Поэтому с целью повышения ресурса трибосопряжения используются технологии поверхностного упрочнения. Однако для их реализации во многих случаях требуется сложное, энергоемкое и дорогостоящее оборудование, обслуживаемое высококвалифицированными специалистами, что отрицательно сказывается на себестоимости изготовления упрочненных деталей. В последние годы стали получать развитие различные комбинированные способы поверхностного упрочнения, основанные на использовании термомеханического воздействия на поверхностный слой изделия, сочетающие процессы поверхностного пластического деформирования с нанесением покрытий различного функционального назначения. Из них вследствие простоты исполнения, технической и экономической целесообразности, экологической чистоты выделяется способ деформационного плакирования гибким инструментом, в качестве которого используется вращающаяся металлическая щетка с проволочным ворсом. Покрытие формируется за счет переноса щетками микрочастичек контактирующего с ними материала-донора на поверхность обрабатываемой детали. В работе представлены результаты исследования деформационного плакирования гибким инструментом с целью улучшения эксплуатационных свойств деталей пар смешанного трения.

Ключевые слова: пары трения, поверхностный слой, поверхностное упрочнение, покрытие, плакирование, гибкий инструмент, надежность.

Improving the quality, reliability and competitiveness of products of engineering industry is inextricably connected with solving the problem of increasing the working capacity of friction units. The real life of the tribological components is known to depend largely on the bearing ability of the mated working surfaces. Under a wide variety of operating conditions of these details in all cases the most loaded appears to be the superficial layer. Because of this, surface strengthening technologies are applied for increasing the resource of friction units. However, their implementation in many cases requires complex, power intensive and expensive equipment, which is manned by highly qualified specialists. This negatively affects the production cost of hardened details. Recent trends are towards the development of various combined methods of surface hardening based on the thermomechanical actions on the products surface layer, which combine processes of superficial plastic deformation with coating of various functional purposes. From them, owing to the simplicity of implementation, technical and economic feasibility, ecological safety the deformation cladding technique with flexible tools stands out, where a rotating metal brush with wire bristles is used as a flexible tool. The coating is formed through transferring by brushes microparticles of a donor material contacting with them to the surface of the workpiece. The article presents the results of research into deformation cladding with flexible tools with the aim of enhancing service characteristics of the details of mixed friction pairs.

Keywords: friction pairs, superficial layer, surface hardening, coating, cladding, flexible tool, reliability.

УДК 669.14.018.41

## **Структурные превращения при охлаждении малоуглеродистых низколегированных трубных сталей**

**А. А. Ефимов<sup>1</sup>, А. А. Холодный<sup>1</sup>, И. П. Шабалов<sup>2</sup>,  
Ю. И. Матросов<sup>1</sup>, В. Я. Великоднев<sup>2</sup>, М. Ю. Матросов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФГУП “ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина”, г. Москва. E-mail: pscenter@chermet.net

<sup>2</sup> ООО “Трубные инновационные технологии”, г. Москва.

E-mail: info@pipeintech.com

Исследована кинетика фазовых превращений низколегированных трубных сталей различных композиций химического состава. Построены диаграммы распада горячедеформированного аустенита при непрерывном охлаждении. Установлено влияние химического состава на микроструктуру и прочностные свойства сталей для хладостойких и сероводородостойких труб большого диаметра категорий прочности X52-X70.

Ключевые слова: низколегированная трубная сталь, химический состав, скорость охлаждения, фазовые превращения, микроструктура, твердость.

---

The kinetics of phase transformations of low-alloy pipe steels of various chemical compositions was studied. The CCT-diagrams of hot-deformed austenite decomposition were constructed. The influence of the chemical composition was determined on the microstructure and strength properties of steels for cold- and H<sub>2</sub>S-resistant large diameter pipes of the X52-X70 grades.

Keywords: low-alloy pipe steel, chemical composition, cooling rate, phase transformations, microstructure, hardness.

УДК 621.774.2

# **Сравнительный анализ влияния способа формовки на комплекс механических свойств и сопротивление разрушению металла электросварных труб большого диаметра**

**Г. А. Филиппов, О. В. Ливанова, Д. М. Соловьев, И. П. Шабалов**

*ФГУП “ЦНИИчермет им. И. П. Бардина”, г. Москва. E-mail: iqs12@yandex.ru*

Проведен сравнительный анализ экспериментальных данных по влиянию различных схем формовки труб большого диаметра на уровень остаточных напряжений, механические свойства, сопротивление разрушению, хладостойкость, склонность к деформационному старению в исходном состоянии и после моделирования старения. Установлены закономерности изменения сопротивления разрушению металла электросварных труб в результате деформационного старения для создания научных основ прогнозирования их эксплуатационной стойкости в зависимости от способа деформирования исходной листовой заготовки.

Ключевые слова: электросварные трубы, схемы формовки, механические свойства, деформационное старение, остаточные напряжения, сопротивление разрушению.

---

A comparative analysis has been performed of experimental data on the effect of various schemes of forming large diameter pipes on the level of residual stresses, mechanical properties, resistance to fracture, cold resistance, propensity to strain ageing in an initial state and after strain ageing modelling. Regularities of changes have been established in resistance to fracture of the metal of electric welded pipes due to strain ageing that are necessary for development of scientific bases for forecasting of their operational durability dictated by the scheme of deformation of initial sheet bars.

Keywords: electric welded pipes, forming schemes, mechanical properties, strain ageing, residual stresses, resistance to fracture.

УДК 669.15.194

## Исследование кинетики распада аустенита при охлаждении колесных сталей различных марок

А. С. Гриншпон<sup>1</sup>, Е. М. Васенина<sup>1</sup>, А. И. Седышев<sup>1</sup>,  
М. А. Ткачук<sup>1</sup>, Г. А. Филиппов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО “Выксунский металлургический завод”, г. Выкса, Нижегородская обл.  
E-mail: sedyshev\_ai@vsw.ru.

<sup>2</sup>ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П. Бардина”, г. Москва. E-mail: iqs12@yandex.ru.

Целью исследования являлось изучение кинетики распада недеформированного аустенита и определение оптимальной скорости охлаждения при термическом упрочнении железнодорожных колёс, изготовленных из различных марок колесных сталей. Это необходимо для повышения качества колес путем исключения появления в поверхностных слоях обода структур, образующихся по сдвиговому и диффузионно-сдвиговому механизму, и получения однородной перлитной структуры по всему сечению. Исследование фазовых превращений проводили посредством построения термокинетических диаграмм распада аустенита.

Ключевые слова: железнодорожное колесо, сталь, микроструктура, скорость охлаждения, твёрдость.

The aim of this investigation was to study the kinetics of the decomposition of non-deformed austenite and to determine the optimal cooling rate for thermal hardening of railway wheels made from various types of wheel steels. This is required for improvement wheels quality through eliminating the occurrence in the rims surface layers of structures formed by shear and diffusion-shear mechanism and obtaining a homogeneous pearlite structure across the section. The phase transformations were studied by constructing thermokinetic diagrams of austenite decomposition.

Keywords: railway wheel, steel, microstructure, cooling rate, hardness.

УДК 669.14.018.29:621.785

## **Влияние параметров термообработки и натяжения полосы на механические свойства холоднокатаных двухфазных феррито-мартенситных сталей**

**П. А. Мишнев<sup>1</sup>, Е. Н. Кройтор<sup>1</sup>, А. В. Нищик<sup>2</sup>,  
И. Г. Родионова<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>АО “Северсталь Менеджмент”, филиал “Российская сталь”, г. Москва.  
E-mail: [pamishnev@severstal.com](mailto:pamishnev@severstal.com), [en.kroitor@severstal.com](mailto:en.kroitor@severstal.com)*

*<sup>2</sup>ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П.Бардина”, г. Москва.  
E-mail: [nischik-alexandr@yandex.ru](mailto:nischik-alexandr@yandex.ru), [igrodi@mail.ru](mailto:igrodi@mail.ru)*

В работе представлены результаты исследования влияния параметров термообработки и натяжения полосы на механические свойства холоднокатаного проката двухфазной феррито-мартенситной стали. При термической обработке металла промышленного производства в лабораторных условиях варьировали температуру отжига, скорость полосы, натяжение полосы в пределах, допускаемых в агрегате непрерывного горячего цинкования при выпуске подобных сталей. По результатам механических испытаний определены оптимальные температуры обработки и величина натяжения полосы, обеспечивающие требуемый комплекс механических свойств стали марки НСТ980Х.

Ключевые слова: ферритно-мартенситная сталь, холоднокатаный прокат, агрегат горячего цинкования, температура отжига, скорость движения полосы, натяжение полосы, микроструктура, механические свойства.

---

The article presents the results of a research on the influence of thermal treatment parameters and strip tension on the mechanical properties of a cold-rolled two-phase ferritic-martencitic steel. At heat treatment of a metal of industrial production in laboratory experiments the following parameters were varied: annealing temperature, strip speed and strip tension within conditions characteristic for continuous unit of hot zink plating of similar steels. By the results of mechanical tests the optimum temperatures of thermal treatment and the level of strips tension were determined that provided the required complex of mechanical properties for the steel of the НСТ980Х brand.

Keywords: ferritic-martencitic steel, cold-rolled stock, unit of hot zink plating, annealing temperature, strip speed, strip tension, microstructure, mechanical properties.

УДК 669.539.382:669.17:539.4.015

## **Анализ механизмов деформационного упрочнения рельсовой стали в процессе длительной эксплуатации**

**В. Е. Громов<sup>1</sup>, А. А. Юрьев<sup>1</sup>, Ю. Ф. Иванов<sup>2,3</sup>, Н. А. Попова<sup>4</sup>,  
О. А. Перегудов<sup>5</sup>, А. М. Глезер<sup>6</sup>, С. В. Коновалов<sup>7</sup>**

<sup>1</sup>*Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк.  
E-mail: gromov@physics.sibsiu.ru.*

<sup>2</sup>*Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск. E-mail: yufi55@mail.ru.*

<sup>3</sup>*Томский политехнический университет, г. Томск.*

<sup>4</sup>*Томский Государственный Архитектурно-Строительный Университет,  
г. Томск.*

<sup>5</sup>*Омский государственный технический университет, г. Омск.*

<sup>6</sup>*Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС",  
г. Москва.*

<sup>7</sup>*Самарский национальный исследовательский университет им. Академика  
С.П. Королева, 443086, г. Самара.*

Методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии изучены структурно-фазовые состояния и дефектная субструктура поверхностных слоев головки 100-метровых дифференцированно закаленных рельсов категории ДТ 350 после пропущенного тоннажа 691,8 млн т брутто. Рассмотрены механизмы упрочнения металла рельсов и проведены теоретические оценки предела текучести. Показано, что основной вклад в упрочнение рельсовой стали вносит дислокационная субструктура, формирующаяся в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: структура, фазовый состав, рельсы, механизмы упрочнения, длительная эксплуатация.

Using methods of transmission electron diffraction microscopy the structure-phase states and defect substructure of 100 m differentially quenched rails DT 350 after passed tonnage 691.8 mln tons have been studied: Mechanisms of rail metal strengthening were considered and of yield stresses were theoretically evaluated. It has been shown that the dislocation substructure forming during the long-term operation makes the main contribution to the rail steel strengthening.

Keywords: structure, phase composition, rails, strengthening mechanisms, long-term operation.

УДК 669.14.018.29

# **Центральная сегрегационная неоднородность и сопротивление водородному растрескиванию листов из трубных сталей. Часть 2. Влияние термомеханической обработки**

**Я. С. Кузнеченко<sup>1</sup>, И. П. Шабалов<sup>2</sup>, А. А. Холодный<sup>1</sup>,  
Ю. И. Матросов<sup>1</sup>, В. Я. Великоднев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П. Бардина”, г. Москва. E-mail: [pscenter@chermet.net](mailto:pscenter@chermet.net)

<sup>2</sup> ООО “Трубные инновационные технологии”, г. Москва. E-mail: [info@pipeintech.com](mailto:info@pipeintech.com)

Рассмотрено влияние термомеханической обработки на микроструктуру зоны центральной сегрегации и стойкость против водородного растрескивания листов из трубных сталей. Показаны преимущества применения ускоренного охлаждения листов после контролируемой прокатки по сравнению с охлаждением на воздухе. Определены оптимальные режимы ускоренного охлаждения, обеспечивающие снижение интенсивности центральной сегрегации и повышение стойкости против водородного растрескивания листов.

Ключевые слова: низкоуглеродистая трубная сталь, толстолистовой прокат, термомеханическая обработка, микроструктура, центральная сегрегация, твердость, водородное растрескивание.

The effect of thermomechanical treatment was considered on the microstructure of the centerline segregation zone and resistance to hydrogen induced cracking of rolled plates from pipe steels. Advantages of the plates accelerated cooling after controlled rolling over air cooling were shown. Optimum modes of accelerated cooling have been determined, which ensure a decrease in intensity of centerline segregation and an increase in resistance to hydrogen induced cracking of plates.

Keywords: low-carbon pipe steel, rolled plate, thermomechanical treatment, microstructure, centerline segregation, hardness, hydrogen induced cracking.

УДК 669-419.4

## **Оценка эффективности применения новых высокопрочных сталей в качестве основного слоя биметаллов, получаемых по технологии электрошлаковой наплавки**

**А. А. Павлов**

*ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П.Бардина”, г. Москва. E-mail: bimt@rambler.ru*

В работе приведен анализ существующих сталей используемых в качестве основного слоя коррозионностойких биметаллов для оборудования нефтехимических производств. Показано, что разработанные новые марки высокопрочного биметаллического проката являются перспективными материалами для изготовления и транспортировки оборудования с точки зрения снижения металлоемкости и затрат на производство. На проведенном прочностном расчете показана возможность снижения толщины стенок, емкости хранения углеводородного конденсата.

Ключевые слова: высокопрочный коррозионностойкий биметалл, электрошлаковая наплавка, расчет на прочность, сосуды и аппараты, снижение затрат, металлоемкость.

---

The existing steels used as the main layer of corrosion-resistant bimetal for the equipment of petrochemical industries were analyzed in the paper. It is shown that the developed new brands of high-strength bimetallic rolled products are promising materials for manufacturing of transporting equipment from the standpoint of reducing metal consumption and production costs. On the basis of the strength analysis the possibility is shown of reducing the wall thickness and the storage capacity of hydrocarbon condensate.

Keywords: high-strength corrosion-resistant bimetals, electroslag surfacing, strength calculation, vessels and apparatus, cost reduction, metal consumption.



## **II международная конференция “Стандартизация — ключевой инструмент повышения экономической эффективности металлургической отрасли России”**

26 октября 2017 года в Москве пройдет одно из значимых мероприятий для металлургического комплекса страны — II международная конференция “Стандартизация — ключевой инструмент повышения экономической эффективности металлургической отрасли России”.

Организаторами конференции являются ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П. Бардина”, Ассоциация “Русская Сталь” и Комитет РСПП по техническому регулированию, стандартизации и оценке соответствия. Мероприятие проводится при непосредственной поддержке Евразийской экономической комиссии, Министерства промышленности и торговли Российской Федерации и Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии.

Цель конференции — информирование руководителей и специалистов металлургического комплекса страны об актуальных изменениях законодательной, нормативной и технической базы в сфере технического регулирования и стандартизации, а также активизация межотраслевого сотрудничества при разработке современных национальных, межгосударственных и международных стандартов, обмен опытом. Программой мероприятия предусмотрено обсуждение актуальных вопросов развития системы технического регулирования и стандартизации в России и странах ЕАЭС, нормативно-правового регулирования в области стандартизации, практических вопросов экспорта металлопродукции, роли стандартизации в решении ключевых вопросов конкурентоспособности предприятий металлургического комплекса России.

К участию приглашены представители федеральных и региональных органов власти, руководители и ведущие специалисты металлургических компаний, организаций, учебных и исследовательских институтов, представители смежных отраслей промышленности.

Место проведения конференции: г. Москва, ул. Радио 23/9, стр. 2, конференц-зал ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П. Бардина”.

Телефоны: +7 (495) 777-93-12, +7 (495) 777-93-13.

E-mail: [omv@chermet.net](mailto:omv@chermet.net)



## К 70-летию Виктора Евгеньевича Громова

26 ноября 2017 г. исполняется 70 лет Виктору Евгеньевичу Громову — известному в России и за рубежом металлофизику, Заслуженному деятелю науки РФ, Почетному металлургу РФ, члену Межгосударственного совета по физике прочности и пластичности материалов, члену Научного Совета РАН по физике конденсированных сред, доктору физико-математических наук, профессору, заведующему кафедрой ЕНД Сибирского государственного индустриального университета. Виктор Евгеньевич зарегистрирован в Федеральном реестре экспертов в научно-технической сфере Министерства образования и науки и РАН, он — член редколлегии 4-х журналов из списка ВАК.

Как высококвалифицированный специалист широкого профиля, Виктор Евгеньевич по праву занимает ведущее место среди ученых России в области материаловедения, физики прочности и пластичности сталей и сплавов. На протяжении долгой научной деятельности его учителями и соратниками являются известные российские ученые-металлофизики и материаловеды В.Е. Панин, Л.Б. Зуев, Э.В. Козлов, А.М. Глезер, Ю.Ф. Иванов.

Экспериментальные и теоретические исследования в области физики прочности и пластичности материалов в условиях внешних энергетических воздействий (электрических полей и токов, плазменных и электронных пучков), выполненные за 40 лет В.Е. Громовым и его учениками, получили широкую известность и признание в научных кругах и привели к созданию нового научного направления. Результаты исследований нашли применение как в академических, отраслевых и учебных институтах при изучении природы формоизменения металлов и сплавов, так и на ряде предприятий металлургической промышленности и машиностроения при разработке соответствующих электротехнологий. Они внедрены со значительным экономическим эффектом на предприятиях Кузбасса.

За цикл работ по внедрению безкислотной технологии удаления окалина при производстве проволоки из малоуглеродистых и низколегированных сталей на предприятиях металлургической отрасли В.Е. Громов удостоен премии Правительства РФ в области науки и техники. В 2013 г. он стал лауреатом премии РАН им. ака-

демика И.П. Бардина. В последние годы научная школа “Прочность и пластичность материалов в условиях внешних энергетических воздействий”, возглавляемая проф. В.Е. Громовым, плодотворно работает в области наноструктурного материаловедения по грантам РФФИ, РНФ и целевым программам Минобрнауки. За период работы в высшей школе В.Е. Громов проявил качества талантливого педагога и организатора высшего образования. В.Е. Громов имеет заслуженные звания: Лучший профессор Кузбасса — 2003, Почетный профессор Кузбасса — 2015. Он один из ведущих профессоров университета, пользуется заслуженным уважением студентов и коллег. Его лекции отличает сочетание высокого теоретического уровня с ясной формой изложения.

Виктор Евгеньевич воспитал плеяду талантливых научных сотрудников — 8 докторов и свыше 35 кандидатов наук, плодотворно работающих в

высшей школе, на производстве, в бизнесе. Он автор более 3300 научных публикаций, в том числе 25 патентов и 70 монографий.

В.Е. Громов — действительный член Международной академии энерго-информационных наук и Российской академии естественных наук. Его заслуги отмечены медалями “За служение Кузбассу”, “За особый вклад в развитие Кузбасса” 2 и 3-й степени, другими наградами и грамотами администрации Кемеровской области. 70-летний юбилей Виктор Евгеньевич встречает в расцвете творческих сил.

Коллектив ЦНИИчермет им. И.П.Бардина, редакционная коллегия журнала “Проблемы черной металлургии и материаловедения” сердечно поздравляют Виктора Евгеньевича с юбилеем и желают ему доброго здоровья, счастья и новых научных свершений.