

ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

СОДЕРЖАНИЕ

4 • 2015

Теоретические основы металлургии

- М. Е. Гетманова, Н. О. Ливанова, Ю. И. Матросов, А. Н. Никулин, Г. А. Филиппов**
Анализ деформационных условий при раскатке обода железнодорожных колес 5
- Е. В. Протопопов, В. В. Числавлев, С. В. Фейлер**
Исследование процессов течения металлического расплава в промежуточном ковше МНЛЗ методами вычислительной гидродинамики 19

Технологические процессы металлургии

- А. И. Зайцев, С. В. Стукалин, С. В. Никонов, А. В. Краснов, М. В. Жиронкин, А. Б. Степанов, А. В. Колдаев, Н. А. Карамышева**
Исследование закономерностей формирования и эволюции характеристик комплексных неметаллических включений при ковшовой обработке, непрерывной разливке конструкционной стали К56 24
- М. В. Темлянецев, К. С. Коноз, В. Ф. Горюшкин, Э. Я. Живаго, В. Я. Целлермаер**
Исследование процессов высокотемпературного окисления и обезуглероживания низколегированных борсодержащих сталей 20Г2Р и 30Г1Р при нагреве под прокатку 34
- В. Н. Перетяцько, С. В. Сметанин, М. В. Филиппова**
Оптимизация прокатки рельсов в четырехвалковых калибрах методом планирования эксперимента ... 39
- А. И. Зайцев, С. В. Стукалин, С. В. Никонов, А. В. Краснов, М. В. Жиронкин, А. Б. Степанов, А. В. Колдаев, Н. А. Карамышева**
Исследование закономерностей образования неметаллических включений при использовании особых технологических режимов обработки стали 49

Переработка техногенного сырья

- У. А. Кологривева, А. Н. Серегин, А. Н. Почтарев**
Разработка серноокислотной технологии переработки шламов гидрометаллургического производства пентаоксида ванадия 63

Материаловедение и новые материалы

- О. Г. Оспенникова**
Особенности, основные задачи и тенденции развития специальной металлургии жаропрочных сплавов нового поколения 68
- В. П. Филиппова, С. Ю. Макушев**
Анализ зависимости периода кристаллической решетки твердого раствора на основе α -Fe от концентраций растворенных элементов 74
- С. В. Ящук, И. В. Лясоцкий, Д. Л. Дьяконов, Н. Г. Шапошников**
Эволюция микроструктуры автолистовых HSLA сталей, подвергаемых термической обработке в агрегатах непрерывного действия 82
- С. В. Коновалов, С. В. Воробьев, В. Е. Громов, Ю. Ф. Иванов, И. А. Комиссарова, Т. Ю. Кобзарева**
Роль обработки электронными пучками в изменении структуры и фазового состава сталей и сплавов, подвергаемых испытаниям на многоцикловую усталость 92
- В. Е. Громов, Ю. Ф. Иванов, К. В. Морозов, О. А. Перегудов, Н. А. Попова, Е. Л. Никоненко**
Механизмы упрочнения рельсов при длительной эксплуатации 98
- М. В. Филиппова, М. В. Темлянецев, В. Н. Перетяцько**
Кривые течения аустенитной стали 08X18H10T при горячей деформации 104

Информация

- Г. А. Филиппов, Л. А. Баева**
Конференция "Материаловедение, технологии и применение высокопрочных сталей и сплавов" 110
- К 70-летию Александра Марковича Глезера 113
- Авторский указатель за 2015 год 115

PROBLEMS OF FERROUS METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE

CONTENT

4 • 2015

Fundamentals of metallurgy

- M. E. Getmanova, N. O. Livanova, Yu. I. Matrosov, A. N. Nikulin, G. A. Filippov**
The analysis of deformation conditions at rolling of the rim of railway wheels 5
- E. V. Protopopov, V. V. Chislavlev, S. V. Feyler**
Research into the processes of molten metal flow in the tundish of a continuous-casting machine by means of computational hydrodynamics 19

Production processes in metallurgy

- A. I. Zaitsev, S. V. Stukalin, S. V. Nikonov, A. V. Krasnov, M. V. Zhironkin, A. B. Stepanov, A. V. Koldaev, N. A. Karamysheva**
Research into the regularities of formation and characteristics evolution of complex nonmetallic inclusions in the course of ladle treatment and continuous casting of the K56 constructional steel 24
- M. V. Temlyantsev, K. S. Konoz, V. F. Goryushkin, E. Ya. Zhivago, V. Ya. Tsellermaer**
Research of processes of high-temperature oxidation and decarburization of boron-containing low-alloy steels 20G2R and 30G1R when heating for rolling 34
- V. N. Peretyat'ko, S. V. Smetanin, M. V. Filippova**
Optimization of rails rolling in four-roll pass by the experiment design technique 39
- A. I. Zaitsev, S. V. Stukalin, S. V. Nikonov, A. V. Krasnov, M. V. Zhironkin, A. B. Stepanov, A. V. Koldaev, N. A. Karamysheva**
Research into regularities of nonmetallic inclusions formation when using special processing conditions of steel treatment 49

Recycling of technogenic raw materials

- U. A. Kologrieva, A. N. Seregin, A. N. Pochtarev**
Development of sulphuric acid technology for processing slimes of hydrometallurgical production of vanadium pentoxide 63

Materials science and new materials

- O. G. Ospennikova**
Special features, main challenges and trends in development of special metallurgy of the new generation superalloys 68
- V. P. Filippova, S. Yu. Makushev**
The analysis of dependence of the unit spacing of the crystal lattice of solid solution on α -Fe basis on dissolved elements concentrations 74
- S. V. Yashchuk, I. V. Lyasotskiy, D. L. D'yakonova, N. G. Shaposhnikov**
Evolution of microstructure of the HSLA autosheet steels, subjected to heat treatment in continuous units 82
- S. V. Konovalov, S. V. Vorobyov, V. E. Gromov, Yu. F. Ivanov, I. A. Komissarova, T. Yu. Kobzareva**
The role of electron beam treatment in the change of structure and phase compositions of steels and alloys subjected to high cycle fatigue tests 92
- V. E. Gromov, Yu. F. Ivanov, K. V. Morozov, O. A. Peregodov, N. A. Popova, E. L. Nikonenko**
Rails strengthening mechanisms under the long-term operation 98
- M. V. Filippova, M. V. Temlyantsev, V. N. Peretyat'ko**
Flow curves of the 08Cr18Ni10Ti austenitic steel during hot deformation 104

Information

- G. A. Filippov, L. A. Baeva**
Conference "Physical metallurgy, technology and use of high strength steels and alloys" 110
To Alexander Markovich Glezer's seventieth anniversary 113
Author's index 115

УДК 621.771.294

Анализ деформационных условий при раскатке обода железнодорожных колес

**М. Е. Гетманова, Н. О. Ливанова, Ю. И. Матросов,
А. Н. Никулин, Г. А. Филиппов**

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

Проведена классификация технологического процесса изготовления железнодорожных колес на стане. Выполнены аналитические исследования по деформационному воздействию валков на металл при раскатке обода железнодорожных колес. Осуществлена аналитическая оценка вклада каждой группы валков стана в деформационную проработку обода колеса. Даны рекомендации по повышению эффективности деформационного воздействия на металл для нажимных и наклонных групп валков при раскатке обода колеса.

Ключевые слова: раскатка, железнодорожное колесо, обод, валки, деформация, напряжения, сдвиги, макроструктура, диссипация энергии.

Classification was carried out of the technological process of production of railway wheels on the rolling mill. The strain effect of rolls on the metal in the course of rolling the rim of railway wheels was analytically studied. The contribution of each group of mill rolls to deformation of the wheel rim was analytically estimated. Recommendations were developed about raising the efficiency of strain effects on the metal of pinch and inclined groups of rolls while rolling wheel rims.

Keywords: rolling, railway wheel, rim, rolls, deformation, stresses, shifts, macrostructure, energy dissipation.

УДК 621.746.5:669.18:519.6

Исследование процессов течения металлического расплава в промежуточном ковше МНЛЗ методами вычислительной гидродинамики*

Е. В. Протопопов, В. В. Числавлев, С. В. Фейлер

*ФГБОУ ВПО “Сибирский государственный индустриальный университет”, г. Новокузнецк.
E-mail: rector@sibsiu.ru, chisl.vv@yandex.ru, feyler@rdtc.ru.*

Разработана трехмерная математическая модель течения металлического расплава в промежуточном ковше четырехручьевого блюмовой машины непрерывного литья заготовок АО “ЕВРАЗ ЗСМК” с использованием программного комплекса FlowVision. Приведены описание математической модели, начальные и граничные условия моделирования. Проведение численных экспериментов с использованием разработанной математической модели позволяет выполнить оценку эффективности различных вариантов конфигурации внутреннего объема промежуточного ковша для обеспечения гомогенизации металлического расплава по химическому составу и температуре, а также чистоты по неметаллическим включениям.

Ключевые слова: качество стали, неметаллические включения, математическое моделирование, промежуточный ковш, непрерывная разливка стали, FlowVision.

A three-dimensional mathematical model has been developed of the molten metal flow in the tundish of the four-strand bloom continuous casting machine of the JSC “EVRAZ ZSMK” using the FlowVision software complex. The mathematical model description, initial and boundary conditions of the simulation are presented. Using the developed mathematical model for numerical experiments allows evaluating the effectiveness of various options for the configuration of the tundish internal volume to ensure homogenizing the melt chemical composition and temperature as well as nonmetallic inclusions cleanliness.

Keywords: steel quality, nonmetallic inclusions, mathematical modeling, tundish, continuous casting of steel, FlowVision.

УДК 669-422.11

Исследование закономерностей формирования и эволюции характеристик комплексных неметаллических включений при ковшовой обработке, непрерывной разливке конструкционной стали К56

**А. И. Зайцев¹, С. В. Стукалин¹, С. В. Никонов²,
А. В. Краснов², М. В. Жиронкин², А. Б. Степанов¹,
А. В. Колдаев¹, Н. А. Карамышева¹**

¹ ФГУП «ЦНИИчермет им И.П.Бардина», г. Москва. E-mail: aizaitsev@yandex.ru, aizaitsev@mtu-net.ru.

² ПАО «Северсталь», г. Череповец, Вологодская обл.

Выполнено детальное исследование закономерностей формирования и эволюции характеристик комплексных неметаллических включений при ковшовой обработке и непрерывной разливке конструкционной стали К56. Установлено, что силикатные (на основе $\text{SiO}_2 - \text{MnO} - \text{Al}_2\text{O}_3$) и корундовые включения, образующиеся на начальных стадиях обработки металла, практически полностью удаляются в шлак. Неметаллические включения, в том числе больших размеров, на основе алюмомагниевого шпинели и алюминатов кальция, во многих случаях с сульфидной составляющей, контролирующей комплекс свойств готового проката, формируются на завершающих этапах ковшовой обработки. Установлены ключевые факторы, контролирующей возможность их образования, а также разработаны эффективные технологические приемы повышения чистоты стали по таким включениям.

Ключевые слова: конструкционные стали, ковшовой обработка, непрерывная разливка, комплексные неметаллические включения, дефекты, технология производства.

Regularities of formation and characteristics evolution of complex nonmetallic inclusions in the course of ladle treatment and continuous casting of the K56 constructional steel have been studied in detail. It is found that silicate (based on $\text{SiO}_2 - \text{MnO} - \text{Al}_2\text{O}_3$) and corundum inclusions, formed in the initial stages of metal treatment, are almost completely removed into slag. Nonmetallic inclusions, including large-sized ones, based on aluminomagnesium spinel and calcium aluminates in many cases with presence of some sulphidic component, are formed in the final stages of ladle treatment. This type inclusions control the properties of finished rolled products. The key factors are established that define the possibility of their occurrence and effective processing techniques are developed for increasing the inclusion cleanliness of steel.

Keywords: constructional steel, ladle treatment, continuous casting, complex nonmetallic inclusions, defects, production technology.

УДК 669.046.564:621.785

Исследование процессов высокотемпературного окисления и обезуглероживания низколегированных борсодержащих сталей 20Г2Р и 30Г1Р при нагреве под прокатку

**М. В. Темлянцев, К. С. Коноз, В. Ф. Горюшкин,
Э. Я. Живаго, В. Я. Целлермаер**

*Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк.
E-mail: uchebn_otdel@sibsiu.ru.*

Проведено исследование влияния температуры и времени нагрева на окисление и обезуглероживание сталей марок 20Г2Р и 30Г1Р. Для практического применения и осуществления прогнозных расчетов при разработке малоокислительных температурных режимов нагрева получены расчетные соотношения зависимости угара от температуры и времени нагрева. Даны рекомендации по выбору малообезуглероживающих режимов нагрева.

Ключевые слова: нагрев под прокатку, сталь, окисление, обезуглероживание.

The influence of temperature and heating time on the oxidation and decarburization of steel grades 20G2R and 30G1R has been studied. Design relationships between metal loss and the temperature and also the time of heating were derived for practical applications and forecast calculations in the course of development of low-oxidizing temperature conditions for heating. Recommendations on the choice of low-decarburizing modes were proposed.

Keywords: heating for rolling, steel, oxidation, decarburization.

УДК 629.539.374.621.771

Оптимизация прокатки рельсов в четырехвалковых калибрах методом планирования эксперимента

В. Н. Перетяtko¹, С. В. Сметанин², М. В. Филиппова¹

¹ ФГБОУ ВПО "Сибирский государственный индустриальный университет", г. Новокузнецк.

E-mail: kafkshp@sibsiu.ru, filippova_mv@mail.ru.

² АО "ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат" г. Новокузнецк.

E-mail: Sergey.Smetanin@evraz.com,

В работе приведены результаты научно-практического исследования по оптимизации процесса горячей прокатки трамвайных желобчатых рельсов в четырехвалковых разрезных калибрах с использованием метода планирования факторного эксперимента и компьютерного математического моделирования. Полученные теоретические результаты были опробованы при проведении промышленного эксперимента. Установлена хорошая сходимость теоретических и промышленных результатов, на основании которых предложена энергоэффективная технология прокатки.

Ключевые слова: прокатка, трамвайный рельс, усилие прокатки, факторное планирование эксперимента, промышленный эксперимент.

The paper describes the results of scientific and practical research on optimizing the process of hot rolling of tram grooved rails in four-roll slitting passes through planning of factorial experiments and computer mathematical modelling. The received theoretical results have been tested in industrial experiments. Good convergence between the theoretical and industrial results is obtained and on the basis of these data a power effective rolling technology is proposed.

Keywords: rolling, tram rail, roll force, factorial planning of experiment, industrial experiment.

УДК 669-422.11

Исследование закономерностей образования неметаллических включений при использовании особых технологических режимов обработки стали

**А. И. Зайцев¹, С. В. Стукалин¹, С. В. Никонов²,
А. В. Краснов², М. В. Жиронкин², А. Б. Степанов¹,
А. В. Колдаев¹, Н. А. Карамышева¹**

¹ ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П.Бардина", г. Москва. E-mail: aizaitsev@mtu-net.ru, aizaitsev1@yandex.ru.

² ПАО "Северсталь", г. Череповец Вологодской обл.

На примере стали К60 выполнено детальное исследование закономерностей формирования и эволюции неметаллических включений для особых технологических режимов обработки металла, прежде всего, связанных с необходимостью использования химического подогрева. Установлено что, несмотря на обработку металла трех исследованных плавок по существенно различающимся технологическим схемам, в пробах металла из промежуточного ковша и от непрерывно литых заготовок доминируют два типа неметаллических включений. Первый тип имеет основу алюмомагниевого шпинели с присутствием алюминатов кальция и, возможно, некоторой сульфидной составляющей - сульфидов кальция и/или марганца. Второй тип включений имеет кальций алюминатную основу с различной от малой до существенной доли сульфидной составляющей, в основном, из сульфида кальция. Максимальный размер включений наблюдается в случае химического подогрева стали на завершающей стадии обработки. Предложены эффективные технологические приемы снижения содержания неметаллических включений, прежде всего, больших размеров.

Ключевые слова: конструкционные стали, ковшовая обработка, непрерывная разливка, неметаллические включения, особые методы обработки металла, дефекты, технология производства.

By the example of the K60 steel a detailed research has been carried out into regularities of formation and evolution of nonmetallic inclusions under special processing conditions of metal, first of all connected with the need for chemical heating. It has been established that, despite processing of the metal of the three studied meltings by significantly different modes, two types of nonmetallic inclusions dominated in steel probes from the tundish and continuously cast ingots. The first type inclusions are based on alumomagnesium spinel with presence of calcium aluminates and, perhaps, some sulphidic component (calcium and/or manganese sulfides). The second type inclusions are based on calcium aluminate and contain from small to essential fraction of a sulfide component, mainly calcium sulfide. The maximum size of inclusions is observed in the case of the steel chemical heating at the final stage of treatment. Effective technological processes have been proposed for decreasing the content of nonmetallic inclusions, first of all large - sized inclusions.

Keywords: constructional steel, ladle treatment, continuous casting, nonmetallic inclusions, special methods of metal processing, defects, production technology.

УДК 661.888.1

Разработка сернокислотной технологии переработки шламов гидromеталлургического производства пентаоксида ванадия

У. А. Кологриева, А. Н. Серегин, А. Н. Почтарев

ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П. Бардина”, г. Москва. E-mail: ferrosplav@chermet.net.

Разработаны сернокислотные способы переработки ванадийсодержащих шламов гидromеталлургического производства пентаоксида ванадия с получением ванадий-марганцевых и ванадиевых концентратов для производства ванадиевых сплавов.

Ключевые слова: отходы, пентаоксид ванадия, ванадиевый концентрат, ванадийсодержащий шлам, извлечение, выщелачивание, феррованадий.

Sulphuric acid methods of processing vanadium-bearing slimes of hydrometallurgical production of vanadium pentoxide are developed that allow preparation of vanadium-manganese and vanadium concentrates for production of vanadium alloys.

Keywords: waste, vanadium pentoxide, vanadium concentrate, vanadium-bearing slime, extraction, lixiviation, ferrovanadium.

УДК 669.018.44

Особенности, основные задачи и тенденции развития специальной металлургии жаропрочных сплавов нового поколения

О. Г. Оспенникова

*ФГУП “Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов”,
г. Москва. E-mail: admin@viam.ru, ospennikovaog@viam.ru*

Проведен анализ тенденций развития исследований в области материалов со специальными свойствами с учетом особенностей развития металлургии жаропрочных сплавов, определены приоритетные направления формирования и развития научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области материаловедения, на основании которого сформулированы основные задачи развития металлургии жаропрочных сплавов. Отмечено, что важным аспектом решения сложившихся в отрасли проблем является техническая модернизация производств с целью индустриализации на новом техническом уровне. Не менее актуальной является задача развития ряда смежных отраслей производства исходных компонентов, включая РЗМ, лигатур и вспомогательных материалов, а также создание новых подходов к моделированию технологических процессов и проектированию изделий с применением материалов нового поколения.

Ключевые слова: металлургия, жаропрочные сплавы, редкоземельные металлы, инновации, материаловедение.

Trends in development of materials with special properties have been analyzed with consideration for special features of superalloys metallurgy. The priority areas in research activities and development engineering in materials science are identified. On these bases the major issues of superalloys metallurgy are stated. It is noted that the important aspect for solving problems existing in the branch is technical modernization of productions for reaching a new technological level of industrialization. Growth of related industries, mainly productions of starting components, including rare earth metals, ligatures and auxiliary materials are no less urgent problem as well as the development of the new approaches for modeling of technological processes and products design using the new generation materials.

Keywords: metallurgy, heat-resistant alloys, superalloys, rare earth metals, innovation, materials science.

УДК 548.4

Анализ зависимости периода кристаллической решетки твердого раствора на основе α -Fe от концентраций растворенных элементов

В. П. Филиппова, С. Ю. Макушев

ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина", г. Москва. E-mail: varia.filippova@yandex.ru, smbox2@yandex.ru.

Период кристаллической ОЦК решетки твердого раствора на основе α -Fe определяли стандартным прецизионным рентгеновским дифракционным методом. Полученные экспериментальные данные представляли в виде линейных функций нескольких переменных, используя математический метод регрессионного анализа. Получены линейные коэффициенты, характеризующие влияние на период ОЦК решетки α -Fe ряда легирующих элементов и примесей конструкционных сталей: Ni, Cr, Mo, Al, Si, B, Sn, P, S.

Ключевые слова: сплавы железа, твердый раствор, кристаллографические характеристики, рентгеновская дифрактометрия.

The unit spacing of the bcc crystal lattice of α -Fe based solid solution was determined by the standard precision X-ray diffraction technique. The obtained experimental data were presented in the form of linear functions of several variables, using the mathematical method of regression analysis. The linear coefficients were obtained that characterized the influence on the bcc crystal lattice of α -Fe based solid solution of some alloying elements and impurities in constructional steels: Ni, Cr, Mo, Al, Si, B, Sn, P, S.

Keywords: iron alloys, solid solution, crystallographic characteristics, X-ray diffractometry.

УДК 669.14.018.262.

Эволюция микроструктуры автолистовых HSLA сталей, подвергаемых термической обработке в агрегатах непрерывного действия

С. В. Ящук, И. В. Лясоцкий, Д. Л. Дьяконов, Н. Г. Шапошников

ФГУП “ЦНИИчермет им.И.П.Бардина”, г.Москва. E-mail: yashchuksv@gmail.com.

Исследованы закономерности формирования структуры проката из высокопрочных автолистовых HSLA-сталей, микролегированных ниобием, ванадием и титаном при суммарной их концентрации ~0,5 % при термической обработке, характерной для агрегатов непрерывного действия. Показано, что эволюция микроструктуры исследованных сталей после отжига в межкритическом интервале температур определяется в основном кинетикой фазовой перекристаллизации при ингибирующем воздействии наночастиц избыточных карбонитридных фаз. Характер их выделений при этом изменяется незначительно.

Ключевые слова: микролегированная сталь, термическая обработка, агрегат непрерывного действия, фазовая перекристаллизация, микроструктура, выделения карбонитридов.

Regularities have been investigated of forming the structure of rolled products from high-strength autosheet HSLA steels, microalloyed by niobium, vanadium and titanium at their total concentration ~ 0,5 pct, in the course of heat treatment characteristic for continuous units. It has been shown that evolution of microstructure of the investigated steels after annealing in the intercritical range of temperatures is defined generally by kinetics of phase recrystallization under the inhibiting influence of the nanoparticles of excess carbonitride phases while the nature of these precipitates varies only slightly.

Keywords: microalloy steel, heat treatment, continuous unit, phase recrystallization, microstructure, carbonitride precipitations.

УДК 669.04: 669.12.

Роль обработки электронными пучками в изменении структуры и фазового состава сталей и сплавов, подвергаемых испытаниям на многоцикловую усталость

**С. В. Коновалов¹, С. В. Воробьев¹, В. Е. Громов¹,
Ю. Ф. Иванов^{2,3}, И. А. Комиссарова¹, Т. Ю. Кобзарева¹**

¹ *Сибирский государственный индустриальный университет, г.Новокузнецк.*

E-mail: konovalov@physics.sibsiu.ru

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

³ *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск.*

Методами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии проведен анализ влияния электронно-пучковой обработки на изменение структуры и фазового состава сталей 08X18N10T, 20X23N18, 20X13, Э76Ф, приводящей к повышению их усталостной долговечности до 3,5 раз. Проведена интерпретация установленных эффектов и выполнено их обобщение.

Ключевые слова: сталь, структура, фазовый состав, усталостная долговечность, электронно-пучковая обработка.

Analysis of the effect of electron-beam processing on changing the structure and phase composition of the 08Cr18Ni10Ti, 20Cr23Ni18, 20Cr13 and E76F steels, leading to an increase in the fatigue life of up to 3.5 times, was carried out using the methods of scanning and transmission electron microscopy. The found effects were interpreted and their generalization was performed.

Keywords: steel, structure, phase composition, fatigue durability, electron-beam treatment.

УДК: 669.539.382:669.17

Механизмы упрочнения рельсов при длительной эксплуатации

**В. Е. Громов¹, Ю. Ф. Иванов^{2,3}, К. В. Морозов¹,
О. А. Перегудов¹, Н. А. Попова⁴, Е. Л. Никоненко⁴**

¹ Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк.

E-mail: gromov@physics.sibsiu.ru

² Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск. E-mail: yufi55@mail.ru

³ Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск.

⁴ Томский Государственный Архитектурно-Строительный Университет, Г. Томск.

На основании результатов электронно-микроскопических исследований выполнен количественный анализ механизмов упрочнения рельсов после длительной эксплуатации (пропущенный тоннаж 500 и 1000 млн. т брутто). Показано, что упрочнение носит многофакторный характер и обусловлено формированием наноразмерных фрагментов; дисперсионным упрочнением частицами карбидной фазы; формированием атмосфер Коттрелла и Сузуки атомами углерода на дислокациях; внутренними полями напряжений, формирующимися внутри и межфазными границами.

Ключевые слова: упрочнение, рельсы, механизмы упрочнения, длительная эксплуатация.

Quantitative analysis of rails strengthening mechanisms after the long-term operation (gross passed tonnage 500 and 1000 mln tons) has been carried out on the basis of the results of transmission electron diffraction microscopy investigations. It is shown that the strengthening has a multifactor character, which is caused by nanosize fragments formation; dispersion strengthening by carbide phase particles; Cottrell and Suzuki atmospheres formation by the carbon atoms on dislocations; internal stress fields being formed by intraphase and interphase boundaries.

Keywords: strengthening, rails, strengthening mechanisms, long-term operation.

УДК 539.52.

Кривые течения аустенитной стали 08Х18Н10Т при горячей деформации

М. В. Филиппова, М. В. Темлянцева, В. Н. Перетяшко

*ФБГОУ ВПО "Сибирский государственный индустриальный университет", г. Новокузнецк.
E-mail: filipova_mv@mail.ru, kafkshp@sibsiu.ru*

Проведено исследование кривых течения аустенитной стали 08Х18Н10Т с содержанием δ -феррита 28 %, полученных методом растяжения образцов при температурах от 800 до 1200 °С. Установлено, что протекание атермической деформации возможно при высоких температурах и низких скоростях деформации. Определены интервалы температур и скоростей деформации, при которых формоизменение металла является результатом термически активированного движения дислокаций.

Ключевые слова: деформация, феррит, аустенит, неравномерность деформаций, границы зерен, нержавеющая сталь, аустенитная сталь.

Flow curves of the 08Cr18Ni10Ti austenitic steel with δ -ferrite content of 28 pct have been studied by stretching samples at temperatures from 800 up to 1200 °C. It is established that the process of athermic deformation is possible at high temperatures and low deformation rates. Ranges of temperature and deformation rates are specified, where the metal deformation is the result of thermally activated dislocation movement.

Keywords: deformation, ferrite, austenite, non-uniformity of deformation, grain boundaries, stainless steel, austenitic steel.

Конференция “Металловедение, технологии и применение высокопрочных сталей и сплавов”

Г. А. Филиппов, Л. А. Баева

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

29–30 сентября 2015 г. во ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П.Бардина” состоялась конференция “Металловедение, технологии и применение высокопрочных сталей и сплавов”, организатором которой был ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П.Бардина” при поддержке ООО “Трубные инновационные технологии”. В ходе конференции были заслушаны и обсуждены доклады по актуальным проблемам производства и применения высокопрочных сталей, сплавов и изделий из них.

С приветственной речью на открытии конференции выступил В.А.Углов, исполняющий обязанности Генерального директора ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П.Бардина”. Докладчик в своем выступлении подчеркнул актуальность проведения конференции и отметил, что в настоящее время создание на основе исследований новых сталей и сплавов для важнейших отраслей техники и народного хозяйства, разработка технологий и внедрение их в промышленное производство являются приоритетными задачами, решаемыми ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П. Бардина” на протяжении всего периода его деятельности. Кроме того отмечено, что одним из важнейших условий успешного решения предъявляемых современной промышленностью новых задач является тесное сотрудничество ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П. Бардина” с отечественными и зарубежными институтами, исследовательскими организациями, металлургическими предприятиями и потребителями металлопродукции.

В докладе Г.А.Филиппова (ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П.Бардина”) “Актуальные вопросы повышения качества и потребительских свойств конструкционных

материалов” проанализированы основные проблемы в области разработки составов, освоения технологий производства и создания способов повышения однородности структуры и свойств высокопрочных конструкционных сталей. Рассмотрены вопросы повышения качества и уровня свойств металла для железнодорожного транспорта как основы надежной и безаварийной эксплуатации, основные проблемы производства подшипниковой стали, высокопрочных нержавеющей сталей, легированных азотом и кремнием.

Разработке низкоуглеродистой легированной медью дисперсионно-твердеющей стали для соединительных деталей магистральных газонефтепроводов (фитингов) классов прочности К60-К65 посвящен доклад М.Ю.Матросова (ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П.Бардина”). Докладчик отметил, что проведенные эксперименты показали, что упрочнение дисперсными частицами, содержащими медь, является уникальным механизмом, способным обеспечить у низколегированной толстолистовой стали с углеродным эквивалентом менее 0,45% предел текучести не менее 500 Н/мм² после нормализации и отпуска. Также было подчеркнуто, что данные стали могут стать альтернативой используемым в настоящее время сталям типа 10Г2ФБ-Ю для изготовления соединительных деталей трубопроводов. Кроме того, медьсодержащие дисперсионно-твердеющие стали благодаря сочетанию высокой прочности и вязкости в нормализованном или закаленно-отпущенном состоянии и низкой величины углеродного эквивалента, а также повышенной стойкости к атмосферной коррозии, обеспечиваемой добавками меди,

могут найти применение в качестве материала для строительных конструкций, морских платформ, мостов и других ответственных сооружений.

В докладе А.В.Митрофанова (АО "Северсталь Менеджмент") "Опыт производства штрипового проката на стане 5000 ПАО "Северсталь" с требованиями к трещиностойкости при испытании СТOD" показано, что управляя величиной неоднородности структуры, можно управлять результатами испытаний СТOD. Снижение содержания углерода позволило уменьшить суммарную толщину ликвационных полос, что привело к стабильно годным результатам по испытаниям СТOD. Прокатка в области температур близких к Ag3 обеспечила получение равномерной (по толщине) структуры, состоящей из низкоуглеродистого бейнита и мелкозернистого феррита. Такая структура позволила получить хорошие результаты по механическим свойствам и повысила значения СТOD.

Результатам разработки корпусных сталей для перспективных ядерных реакторов посвящено сообщение А.Г.Баликоева (АО "НПО "ЦНИИТМАШ"). Отмечено, что разрабатываемые состав и технология изготовления высокопрочной, радиационностойкой и теплостойкой стали с оптимизированной наноструктурой должны стать базисом для обеспечения перспективных реакторов надежными высококачественными корпусами. Ввод в эксплуатацию новых реакторов позволит улучшить эффективность использования топлива, замкнуть ядерный топливный цикл, снизить экологическую нагрузку, что должно привести к увеличению эффективности и безопасности ядерной энергетики.

В докладе "Влияние железа и углерода на структуру и свойства хромоникелевого сплава ХН78Т" (авторы А.Ф.Шевакин, Н.Н.Козлова, Е.В.Доронина, Т.В.Свистунова, ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П.Бардина") подробно рассмотрены закономерности влияния железа и углерода на жаростойкость, коррозионную стойкость, включая стойкость против межкристаллитной коррозии, и другие характеристики сплава типа ХН78Т с целью определения возможности экономии никеля путём повышения содержания железа в сплаве без снижения его эксплуатационных и технологических свойств. Показана возможность расширения допустимого содержания железа в сплаве до 8-10% при незначительном снижении жаростойкости и без ухудшения остальных его эксплуатационных и технологических свойств.

Разработке и опробованию комплексной технологии производства коррозионностойкого штрипса из стали марки 08ГБФ-У в условиях ОАО "Уральская Сталь" был посвящен доклад Е.Л.Базаева. Отмечено, что внедрению данной технологии способствовала

успешная реализация технической и технологической подготовки к производству штрипсов в толщинах от 8 до 22 мм. Разработанная совместно с ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина" технология в сочетании с оптимально подобранной системой легирования, а также с низким содержанием вредных примесей позволила обеспечить выполнение требований нормативной документации как по механическим, так и по коррозионным свойствам.

Разработке технологии получения высокопрочного конструкционного проката с пределом прочности более 700 Н/мм² без использования термической обработки с отдельного нагрева посвящен доклад ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина" и АО "ВМЗ" (авторы П.Г.Мартынов, С.Ю.Настич, В.Н.Никитин, В.В.Подтелков). Показана принципиальная возможность обеспечения комплекса механических характеристик материала с пределом прочности более 700 Н/мм², величиной ударной вязкости (KCV-40) не менее 30 Дж/см² и доли вязкой составляющей в изломе не менее 50 % без использования средств дополнительной термической обработки с отдельного нагрева в широком интервале температур окончания ускоренного охлаждения.

В докладе ФГУП "ЦНИИчермет им.И.П.Бардина" "Совершенствование толстолистовых трубных сталей, стойких против растрескивания в сероводородсодержащих средах" (авторы А.А.Холодный, Ю.И.Матросов) отмечено существенное влияние режимов ускоренного охлаждения и содержания углерода и марганца на центральную сегрегационную структурную неоднородность и стойкость против водородного растрескивания НПС листов из низколегированных трубных сталей. Разработаны рекомендации по химическому составу и режимам контролируемой прокатки с ускоренным охлаждением и опробовано изготовление листов толщиной 20 мм категорий прочности от Х52MS до Х65MS с повышенной стойкостью против водородного растрескивания.

Закономерностям изменения параметров сопротивления разрушению конструкционных сталей в ходе эксплуатации и моделированию процессов старения посвящен доклад ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П.Бардина" (авторы Г.А.Филиппов, И.П.Шабалов, О.В.Ливанова, Д.М.Соловьев). В результате моделирования деградационных процессов при одновременном воздействии напряжений, коррозионной среды и водорода установлено, что трубная сталь класса прочности К60 с бейнитной структурой более склонна к замедленному хрупкому разрушению, чем стали с ферритно-перлитной и ферритно-бейнитной структурой.

В докладе "Эволюция структуры аустенита в микролегированной и модифицированной стали транспортного назначения при нагреве" (авторы К.В.Григоревич, А.М.Арсенкин, М.В.Железный, К.Л.Заграничек, К.Ю.Демин, ИМЕТ РАН, НИТУ "МИСиС", ОАО "ВНИИЖТ") подробно исследованы различные варианты микролегирования стали. Показано, что наиболее эффективным вариантом с точки зрения термической стабильности структуры является комплексное микролегирование алюминием, ванадием и ниобием. Характер роста зерен в стали, модифицированной бариумом, указывает на присутствие частиц, тормозящих их рост. При этом отмечено, что в свете современной технологии производства и термической обработки рельсов вопрос типа микролегирующих элементов и их оптимальных сочетаний остается открытым.

В докладе А.Е.Камышного (ОАО "ВМЗ") "Цельнокатаные колеса для скоростного движения Российских железных дорог. Особенности разработки и освоения колес для электропоезда "Ласточка" отмечено, что в результате успешных разработок получен сертификат соответствия ФБУ "РС ФЖТ" № ССФЖТ RU ТМ 01.А.09706 от 22.01.2013 на установочную серию колес; успешно пройдены ресертификационные испытания колес на соответствие требованиям Технического регламента Регистра сертификации; в завершающей стадии находится квалификация колес для поставок в адрес компании Siemens; решена задача локализации производства цельнокатаных колес на территории РФ; сокращены на 10% затраты вагоностроителей, связанные с приобретением цельнокатаных колес для электропоезда "Ласточка", за счет импортозамещения; введена в эксплуатацию линия по окончательной механической обработке и неразрушающему контролю колес для скоростного движения. Мощность линии составляет 10 тыс. колес в год.

В докладе Г.И.Брюнчукова (ОАО "ВНИИЖТ") "Сталь повышенной прочности и трещиностойкости для бандажей локомотивов нового поколения"

отмечено, что на основании положительных результатов проведенных ОАО "ВНИИЖТ" и ОАО "ЕВРАЗ НТМК" предварительных и приемочных испытаний опытной партии бандажей марки "Н", начиная с 3-го квартала 2015 г. проводится их подконтрольная эксплуатация под электровозами серии 2ЭС10 на Свердловской железной дороге.

В работе "Структура и механические свойства сверхнизкоуглеродистых мартенситных сталей после разных режимов прокатки" (авторы В.Г.Филиппов, И.П.Шабалов, В.Я.Великоднев, О.Н.Чевская, ООО "Трубные инновационные технологии", ФГУП "ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина") подробно рассмотрены вопросы структуры и свойств низкоуглеродистых мартенситных сталей, выбрана система легирования, обеспечивающая получение структуры мартенсита при охлаждении на воздухе. Проведенным комплексным исследованием свойств опытной стали 05Х2Г2НМФБ(Р) доказано, что сталь выбранного химического состава в состоянии после прокатки и дополнительной термической обработки характеризуется менее прочной и более вязкой структурой отпущенного мартенсита. Это позволяет приблизиться к требуемому комплексу механических свойств для проката класса прочности Х80 и выше для фитингов.

Кроме того, в рамках конференции рассмотрены проблемы высокопрочных конструкционных мартенситностареющих сталей для перспективных изделий авиационной техники (В.И.Громов, ФГУП "ВИАМ"), новых высокопрочных износостойких сталей для деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин (В.В.Рябов, ФГУП "ЦНИИ КМ "Прометей"), новых сталей для ответственных строительных металлических конструкций (П.Д.Одесский, ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко — филиал ГУП НТЦ "Строительство"), перспективы компьютерного моделирования сквозного процесса производства заготовок оборудования АЭС с оценкой эволюции структурной, химической и физической неоднородности (А.Н.Мальгинов, ОАО "НПО "ЦНИИТМАШ").



К 70-летию Александра Марковича Глезера

26 января 2016 г. исполняется 70 лет Александру Марковичу Глезеру, доктору физико-математических наук, профессору, крупному ученому и лидеру научной школы в области изучения и разработки многофункциональных материалов нового поколения. Им опубликовано индивидуально и в соавторстве свыше 500 научных работ: 10 монографий, 28 научных обзоров (в том числе в журналах “Успехи физических наук”, “Физика твердого тела” и “Физика металлов и металловедение”), 230 научных статей в высокорейтинговых физических и материаловедческих российских и международных журналах, 12 авторских свидетельств и патентов РФ на изобретение, 6 учебно-методических пособий. Монография “Нанокристаллы, закаленные из расплава”, выпущенная в свет в России в 2012 г. издательством “ФИЗМАТИТ”, переиздана в 2013 г. в Великобритании и в Соединенных Штатах Америки издательствами “CISP” и “Taylor & Francis Group”. По данным организации “Корпус экспертов”, на публикации А.М. Глезера имеется более 1000 ссылок в российских и зарубежных научных журналах. Его индекс Хирша — 16 (по базе данных РИНЦ — 22).

Основным направлением научной деятельности А.М. Глезера является разработка структурно-физических основ создания новых перспективных многофункциональных и конструкционных сплавов с уникальным сочетанием физико-механических свойств. Под его руководством выполнен ряд фундаментальных и прикладных исследований

нанокристаллических и аморфных функциональных материалов. Он является ведущим ученым России в области материалов, полученных методами закалки из расплава и интенсивной пластической деформации. Он также известен как ведущий ученый в области применения электронно-микроскопических методов для исследования структуры конденсированного состояния. Ему принадлежат оригинальные методические разработки в области электронно-микроскопических исследований структуры функциональных материалов. Им сформулирована оригинальная концепция характеристических дефектов, ответственных за функциональные свойства металлических систем. Кроме того, им предложена оригинальная физическая модель вязко-хрупкого перехода в аморфных сплавах, предложены и реализованы на практике способы подавления нежелательной хрупкости промышленных сплавов.

А.М. Глезером предложена оригинальная классификация нанокристаллических состояний, возникающих при закалке из жидкого состояния. В его работах обнаружены и детально описаны особенности структуры, а также особенности протекания диффузионных и мартенситных фазовых превращений в нанокристаллах различного типа. Им впервые обнаружены необычные эффекты структурно-фазовых превращений, связанные с высокой степенью пересыщения материалов избыточными вакансиями, формирующимися при закалке из расплава. Им также впервые обнаружен и детально проанализи-

зировав размерный эффект при мартенситном превращении в нанокристаллах. А.М. Глезером успешно развиты дисклинационные и зернограничные подходы к описанию пластического течения в нанокристаллах и предложен новый механизм пластической деформации в нанокристаллических материалах, получивший впоследствии всеобщее признание. Изучены фазовые и структурные превращения при тепловых и деформационных воздействиях на аморфное состояние, которые ведут к эффектам нанокристаллизации. Проанализированы магнитные и механические свойства в сплавах с двухфазной аморфно-нанокристаллической структурой.

А.М. Глезеру принадлежит новый оригинальный подход, позволивший понять природу структурно-фазовых превращений, происходящих при интенсивной пластической деформации. Сформулирован принцип цикличности, включающий в себя активное протекание не только процессов накопления упругой энергии, но и процессов интенсивной аннигиляции внутренних напряжений путем динамической рекристаллизации, тепловыделения или аморфизации. На базе предложенного механизма сформулированы физически обоснованные условия образования нанокристаллических структур и уникальных физико-механических свойств. В случае аморфного состояния обнаружены эффекты нанокристаллизации в процессе интенсивной деформации при различных температурах, включая криогенные, и определена их природа. Установлены способы и конкретные режимы кардинального повышения магнитных, прочностных и пластических и свойств модельных и промышленных функциональных материалов на основе железа, никеля и кобальта, в основе которых лежат методы получения нанокристаллических структур с помощью закалки из расплава в сочетании с интенсивной пластической деформацией. В итоге удалось добиться рекордных значений прочности на сплавах $\text{Co} - \text{V}$ и $\text{Fe} - \text{Cr} - \text{V}$ (s_v свыше 5000 МПа), а также повысить прочность и пластичность промышленных магнитно-мягких сплавов на основе $\text{Fe} - \text{Si}$, $\text{Fe} - \text{Al}$, $\text{Fe} - \text{Si} - \text{Al}$ (сендаст), $\text{Ni} - \text{Fe}$ (пермаллой), $\text{Fe} - \text{Co}$ (пермендюр), $\text{Fe} - \text{Si} - \text{V} - \text{Nb} - \text{Cu}$ (файнмет), а также в жаростойких сплавах $\text{Fe} - \text{Cr} - \text{Al}$ (фехраль) и в ряде других материалов. С помощью предложенных им оригинальных принципов комплексных экстремальных воздействий и инженерии границ зерен получены новые структурные состояния и уникальные физико-механические свойства металлических материалов, близкие к предельным (теоретическим) значениям.

А.М. Глезер более 20 лет руководит Институтом металловедения и физики металлов им. академика Г.В. Курдюмова — одним из авторитетнейших

институтов России в области материаловедения. Он является безусловным лидером научной школы в области исследования физики аморфного и нанокристаллического состояний, воспитавшим талантливых учеников — 14 кандидатов наук, плодотворно работающих в настоящее время в различных регионах России и за ее пределами. На протяжении своей научной деятельности А.М. Глезер успешно возглавлял крупные научные проекты, выполнявшиеся по программам ФЦП Минобрнауки РФ, комплексные проекты по программам Минпромторговли РФ, Международного Научного Фонда, Немецкого Научного Общества, Французской Академии наук и Российского Фонда фундаментальных исследований. А.М. Глезер — лауреат Премии РАН имени П.П. Аносова (2011 г.) за выдающиеся научные работы в области металлургии, материаловедения и термической обработки металлов и сплавов.

А.М. Глезер — главный редактор журнала “Деформация и разрушение материалов”, который входит в список ВАК и переводится на английский язык издательством “Шпрингер”, заместитель главного редактора журнала “Материаловедение”, член редколлегии журналов “Известия РАН, серия физическая”, “Materials Letters”, “Journal of Material Science & Technology”, “Наноструктурное материаловедение”, “Известия ВУЗов. Физика”, “Фундаментальные проблемы современного материаловедения” и “Проблемы черной металлургии и материаловедения”. Он входит в состав Научных Советов РАН по физике конденсированных сред и по наноматериалам. Он также является одним из руководителей Межгосударственного Координационного Совета по физике прочности и пластичности материалов. А.М. Глезер — председатель Диссертационного Совета Д 217.035.01 по специальностям 01.04.07 — физика конденсированного состояния и 05.16.01 — материаловедение и термическая обработка металлов и сплавов при ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П. Бардина”. Он многократно возглавлял оргкомитеты регулярно проводимых в России Международных и Всероссийских конференций “Фазовые превращения и прочность кристаллов”, “Актуальные проблемы прочности”, “Московские чтения по проблемам прочности”, “Применение нанотехнологий и наноматериалов в черной металлургии”.

В качестве профессора кафедры физического материаловедения НИТУ “МИСиС” и заведующего кафедрой “Наноматериалы” Московского Государственного Университета приборостроения и информатики А.М. Глезер ведет активную преподавательскую деятельность. Кафедры осуществляют подготовку бакалавров и магистров по специальности

“Нанотехнологии и микросистемная техника”. На протяжении последних 20 лет им прочитаны курсы лекций по 15 дисциплинам, включая “Основы нанотехнологий и наноматериалов”, “Физика поверхности”, “Дефекты структуры”, “Физические свойства металлов и сплавов”, “Теория строения материалов”, “Общее материаловедение”, “Конструкционные наноматериалы” и др. А.М. Глезер является одним из разработчиков учебно-методического комплекса дисциплины “Конструкционные

наноматериалы” с грифом двух учебно-методических объединений по направлениям 150100 — материаловедение и технологии материалов и 150700 — физическое материаловедение.

Сотрудники ЦНИИчермет им. И.П.Бардина, редакционная коллегия журнала “Проблемы черной металлургии и материаловедения”, друзья, ученики и коллеги сердечно поздравляют А.М. Глезера с юбилеем и желают ему здоровья и новых научных успехов на благо нашей Родины.

Авторский указатель за 2015 год

- Амежнов А. В.** VI Научно-техническая конференция молодых специалистов “Перспективы развития металлургических технологий” № 2, с. 102 – 107
- Антонов В. Н., Ибрагимов Ф. Г.** Сушка монолитных огнеупоров при одностороннем нагреве № 3, с. 32 – 34
- Арутюнян Н. А., Зайцев А. И., Дунаев С. Ф., Калмыков К. Б., Моисеев Ф. С., Федотова Н. Л.** Исследование быстрозакаленных сплавов $Zr_{67}Ni_{30}Si_3$ и $Zr_{64}Ni_{30}Si_6$ № 3, с. 70 – 73
- Асеев М. А., Пантохин А. П., Неклюдов И. В., Шевакин А. Ф.** Установление причин образования дефектов металлургического происхождения в трубах машиностроительного комплекса № 2, с. 26 – 30
- Астафьев Д. С. — см. Червонный А. В.
- Ахметов К. Т. — см. Рошин В. Е.
- Баева Л. А. — Филиппов Г. А.
- Беликова О. В. — см. Ермаков И. С.
- Бигеев В. А. — см. Щеголева Е. А.
- Борцов А. Н. — см. Ментюков К. Ю.
- Браницкая Е. А., Гук В. В., Пак Ю. А., Филиппов Г. А., Шлямнев А. П.** Влияние редкоземельных элементов на комплекс механических свойств и коррозионную стойкость низкоуглеродистой азотосодержащей нержавеющей стали № 3, с. 65 – 69
- Будовских Е. А. — см. Капралов Е. В.
- Будовских Е. А. — см. Романов Д. А.
- Букреев А. Е. — см. Щеголева Е. А.
- Вальтер А. И. — см. Протопопов Е. А.
- Вернидуб О. Д., Заюкова Н. Д.** Новые нормативные документы для аналитического контроля металлических покрытий на стальном прокате № 2, с. 97 – 101
- Виноградов В. П., Кацер И. М., Гуляева Г. С., Парамонов В. А., Москвина Т. П., Илалова Р. Х.** Сульфаминовый электролит лужения жести — от идеи до промышленного производства № 3, с. 38 – 53
- Воробьев С. В. — см. Коновалов С. В.
- Воронцов Ю. Е.** Управление динамикой нагрева стали в двухзонной электрической печи сопротивления с детерминированным регулятором температуры ... № 3, с. 54 – 58
- Вусихис А. С., Леонтьев Л. И., Гуляков В. С., Кудинов Д. З.** Эффективность использования бакальских сидеритов в доменном процессе № 1, с. 29 – 34
- Выговская И. В. — см. Ермаков И. С.
- Гаврилин И. Н.** Методики анализа поведения кислородно-конвертерной плавки на основе параллельного и последовательного разложения кривых газового анализа № 2, с. 88 – 96
- Гетманова М. Е., Ливанова Н. О., Матросов Ю. И., Никулин А. Н., Филиппов Г. А.** Анализ деформационных условий при раскатке обода железнодорожных колес № 4, с. 5 – 18
- Глезер А. М. — см. Капралов Е. В.
- Гойхенберг Ю. Н. — см. Рошин В. Е.
- Голенков М. А., Чертов А. Д., Паршин В. М.** Модель системы прогнозирования дефектов и управления качеством непрерывнолитых заготовок № 1, с. 103 – 108
- Гончарова Е. Н. — см. Романов Д. А.
- Горошко Т. В. — см. Ментюков К. Ю.
- Горюшкин В. Ф. — см. Темлянцев М. В.
- Громов В. Е. — см. Капралов Е. В.
- Громов В. Е. — см. Коновалов С. В.
- Громов В. Е., Иванов Ю. Ф., Морозов К. В., Перегудов О. А., Попова Н. А., Никоненко Е. Л.** Механизмы упрочнения рельсов при длительной эксплуатации № 4, с. 98 – 103
- Громов В. Е., Никитина Е. Н., Иванов Ю. Ф.** Эволюция карбидной и дефектной подсистем стали с бейнитной структурой при деформации № 3, с. 74 – 80
- Громов В. Е. — см. Иванов Ю. Ф.
- Громов В. Е. — см. Романов Д. А.
- Гук В. В. — см. Браницкая Е. А.
- Гуляев М. В. — см. Максимов А. Б.
- Гуляева Г. С. — см. Виноградов В. П.
- Гуляков В. С. — см. Вусихис А. С.
- Гурьянов Г. Н.** Оценка эффективности формоизменения проволоки в проходе волочения № 1, с. 19 – 24
- Гурьянов Г. Н., Зуев Б. М.** Совершенствование технологии производства коррозионно-стойкой проволоки для скважин нефти и газа № 3, с. 29 – 31
- Дзюба А. Ю. — см. Зайцев А. И.
- Дорофеев Г. А. — см. Протопопов Е. А.
- Дунаев С. Ф. — см. Арутюнян Н. А.
- Дьяконов Д. Л. — см. Яшук С. В.
- Ермаков И. С., Тужиков Б. Л., Фофанов А. А., Сухов Л. Л., Выговская И. В., Беликова О. В.** Увеличение производительности участка плавления пентоксида ванадия

- ОАО "ЕВРАЗ Ванадий Тула" за счет снижения влажности пасты пентоксида ванадия № 1, с. 25 – 28
- Ершова И. О., Федотенкова О. Б.** Порошковые композиционные материалы на основе молибдена ..
..... № 1, с. 93 – 98
- Живаго Э. Я. — см. Темлянец М. В.
- Жиронкин М. В. — см. Зайцев А. И.
..... № 4, с. 24 – 33; 49 – 62
- Зайцев А. И. — см. Арутюнян Н. А.
- Зайцев А. И. — см. Степанов А. Б.
- Зайцев А. И., Степанов А. Б., Сарычев Б. А., Дзюба А. Ю.**
Исследование типов и причин возникновения дефектов непрерывнолитых заготовок, сортового проката и готовых изделий из рессорно-пружинных сталей, в том числе, связанных с образованием неметаллических включений № 1, с. 35 – 45
- Зайцев А. И., Стукалин С. В., Никонов С. В., Краснов А. В., Жиронкин М. В., Степанов А. Б., Колдаев А. В., Карамышева Н. А.** Исследование закономерностей формирования и эволюции характеристик комплексных неметаллических включений при ковшовой обработке, непрерывной разливке конструкционной стали К56 № 4, с. 24 – 33
- Зайцев А. И., Стукалин С. В., Никонов С. В., Краснов А. В., Жиронкин М. В., Степанов А. Б., Колдаев А. В., Карамышева Н. А.** Исследование закономерностей образования неметаллических включений при использовании особых технологических режимов обработки стали № 4, с. 49 – 62
- Заюкова Н. Д. — см. Вернидуб О. Д.
- Зуев Б. М. — Гурьянов Г. Н.
- Ибрагимов Ф. Г. — см. Антонов В. Н.
- Иванов Ю. Ф. — см. Громов В. Е. № 3, 4
- Иванов Ю. Ф. — см. Капралов Е. В.
- Иванов Ю. Ф. — см. Коновалов С. В.
- Иванов Ю. Ф. — см. Романов Д. А.
- Иванов Ю. Ф., Морозов К. В., Перегудов О. А., Громов В. Е., Попова Н. А., Никоненко Е. Л.** Формирование структурно-фазовых градиентов в рельсах при длительной эксплуатации № 3, с. 59 – 64
- Илалова Р. Х. — см. Виноградов В. П.
- Казанков А. Ю. — см. Стукалин С. В.
- Калмыков К. Б. — см. Арутюнян Н. А.
- Капралов Е. В., Будовских Е. А., Громов В. Е., Райков С. В., Глезер А. М., Иванов Ю. Ф.**
Структура и свойства износостойкой наплавки на сталь Хардокс 400 № 1, с. 80 – 86
- Карамышева Н. А. —
см. Зайцев А. И. № 4, с. 24 – 33, 49 – 62
- Кацер И. М. — см. Виноградов В. П.
- Кобзарева Т. Ю. — см. Коновалов С. В.
- Козлов Г. И.** Прогнозирование потоков черных металлов на отдельных стадиях их движения . № 2, с. 73 – 79
- Колдаев А. В. — см. Зайцев А. И. № 4, с. 24 – 33, 49 – 62
- Кологриева У. А., Серегин А. Н., Почтарев А. Н.**
Разработка сернокислотной технологии переработки шламов гидрометаллургического производства пентоксида ванадия № 4, с. 63 – 67
- Комиссарова И. А. — см. Коновалов С. В.
- Комков А. Е. — см. Соколова О. В.
- Комкова Т. Ю. — см. Соколова О. В.
- Коновалов С. В., Воробьев С. В., Громов В. Е., Иванов Ю. Ф., Комиссарова И. А., Кобзарева Т. Ю.**
Роль обработки электронными пучками в изменении структуры и фазового состава сталей и сплавов, подвергаемых испытаниям на многоцикловую усталость № 4, с. 92 – 97
- Коноз К. С. — см. Темлянец М. В.
- Краснов А. В. — см. Зайцев А. И. № 4, с. 24 – 33, 49 – 62
- Кудинов Д. З. — см. Вусихис А. С.
- Леонтьев Л. И. — см. Вусихис А. С.
- Лещинская А. Ф. — см. Черникова А. А.
- Ливанова Н. О. — см. Гетманова М. Е.
- Ливанова Н. О. — см. Навценя В. Ю.
- Ливанова Н. О., Соловьев Д. М., Шабалов И. П., Филиппов Г. А.** Механизмы разрушения сварных соединений магистральных нефтепроводов
..... № 2, с. 66 – 72
- Ливанова О. В. — см. Шабалов И. П.
- Ломоносова Н. В. — см. Черникова А. А.
- Лясоцкий И. В. — см. Яшук С. В.
- Максимов А. Б., Гуляев М. В.** Распределение прочности по толщине бруса при пластическом циклическом изгибе № 2, с. 39 – 43
- Макушев С. Ю. — см. Филиппова В. П.
- Маленко П. И. — см. Протопопов Е. А.
- Манашев И. Р. — см. Щеголева Е. А.
- Матросов Ю. И. — см. Гетманова М. Е.
- Ментюков К. Ю., Борцов А. Н., Горошко Т. В.**
Анизотропия механических свойств и чувствительность механических свойств к деформационному старению основного металла высокопрочных толстостенных труб № 2, с. 57 – 65
- Моисеев Ф. С. — см. Арутюнян Н. А.
- Морозов К. В. — см. Громов В. Е.
- Морозов К. В. — см. Иванов Ю. Ф.
- Москвина Т. П. — см. Виноградов В. П.
- Мухатдинов Н. Х., Тюфтяев А. С., Юсупов Д. И., Филиппов Г. А.** Экономическая эффективность применения плазменного подогрева стали в проковшие МНЛЗ № 1, с. 99 – 102
- Навценя В. Ю., Стручалин В. Г., Ливанова Н. О., Филиппов Г. А.** Влияние длительной эксплуатации и деформационного старения конструкционной стали 09Г2С на сопротивление разрушению и искробразующую способность № 1, с. 87 – 92
- Неклюдов И. В. — см. Асеев М. А.
- Никитина Е. Н. — см. Громов В. Е.
- Никоненко Е. Л. — см. Громов В. Е.
- Никоненко Е. Л. — см. Иванов Ю. Ф.
- Никонов С. В. — см. Зайцев А. И. № 4, с. 24 – 33, 49 – 62
- Никулин А. Н. — см. Гетманова М. Е.
- Новосельская М. А., Серегин А. Н., Шкурко Е. Ф.**
Разработка технологии переработки высокотемпературных хроматных шламов и шламов химических производств № 2, с. 31 – 38
- Оспенникова О. Г.** Особенности, основные задачи и тенденции развития специальной металлургии

- жаропрочных сплавов нового поколения № 4, с. 68 – 73
- Пак Ю. А. — см. Браницкая Е. А.
- Пантюхин А. П. — см. Асеев М. А.
- Парамонов В. А. — см. Виноградов В. П.
- Паршин В. М. — см. Голенков М. А.
- Перегудов О. А. — см. Громов В. Е.
- Перегудов О. А. — см. Иванов Ю. Ф.
- Перетягко В. Н. — см. Филиппова М. В.
- Перетягко В. Н., Сметанин С. В., Филиппова М. В.**
Оптимизация прокатки рельсов в четырехвалковых калибрах методом планирования эксперимента № 4, с. 39 – 48
- Поволоцкий В. Д. — см. Роцин В. Е.
- Попова Н. А. — см. Громов В. Е.
- Попова Н. А. — см. Иванов Ю. Ф.
- Почтарев А. Н. — см. Кологриева У. А.
- Протопопов Е. А., Вальтер А. И., Протопопов А. А., Дорофеев Г. А., Маленко П. И.** Метод оценки влияния твердорастворного упрочнения на механические свойства стали в готовом изделии № 2, с. 44 – 48
- Протопопов А. А. — см. Протопопов Е. А.
- Протопопов Е. В., Числавлев В. В., Фейлер С. В.** Исследование процессов течения металлического расплава в промежуточном ковше МНЛЗ методами вычислительной гидродинамики № 4, с. 19 – 23
- Райков С. В. — см. Капралов Е. В.
- Рингинен Д. А. — см. Червонный А. В.
- Романов Д. А., Гончарова Е. Н., Будовских Е. А., Громов В. Е., Иванов Ю. Ф., Тересов А. Д.** Анализ структуры электровзрывных композиционных покрытий системы TiC – Mo после электронно-лучевой обработки № 3, с. 5 – 14
- Роцин А. В. — см. Роцин В. Е.
- Роцин В. Е., Роцин А. В., Ахметов К. Т., Поволоцкий В. Д., Гойхенберг Ю. Н.** Формирование металлической и карбидных фаз при получении углеродистого феррохрома: теория и эксперимент .. № 1, с. 5 – 18
- Сарычев Б. А. — см. Зайцев А. И. № 1
- Семенов М. Ю.** Оценка влияния условий трения на контактную выносимость подвергнутых химико-термической обработке зубчатых колес из комплексно-легированных теплостойких сталей . № 1, с. 70 – 79
- Сёмин А. Е. — см. Щукина Л. Е.
- Серегин А. Н. — см. Кологриева У. А.
- Серегин А. Н. — см. Новосельская М. А.
- Серегин А. Н.** Разработка комплекса технологических решений, обеспечивающих импортозамещение марганцевой продукции. Часть 1. Анализ рынка марганца и проблемы обеспечения России марганцевой продукцией № 3, с. 15 – 28
- Синельников В. А., Филиппов Г. А.** Повышение качества непрерывнолитых заготовок, близких по размеру к конечному продукту № 2, с. 13 – 18
- Сметанин С. В. — см. Перетягко В. Н.
- Соколова О. В., Комкова Т. Ю., Комков А. Е.** Повышение качества поверхности особо тонкостенных труб из трубных марок сталей № 2, с. 9 – 12
- Соловьев Д. М. — см. Ливанова Н. О.
- Соловьев Д. М. — см. Шабалов И. П.
- Степанов А. Б. — см. Зайцев А. И. № 1, с. 35 – 45, № 4, с. 24 – 33, 49 – 62
- Степанов А. Б., Зайцев А. И.** Исследование и разработка основ эффективной технологии производства сортового проката, направленных на исключение поверхностного дефекта “раскатанный газовый пузырь” № 2, с. 19 – 25
- Стручалин В. Г. — см. Навценя В. Ю.
- Стукалин С. В. — см. Зайцев А. И. . № 4, с. 24 – 33, 49 – 62
- Стукалин С. В., Казанков А. Ю.** Эволюция неметаллических включений в процессе внепечной обработки конструкционных сталей № 1, с. 50 – 59
- Сухов Л. Л. — см. Ермаков И. С.
- Темлянец М. В. — см. Филиппова М. В.
- Темлянец М. В., Коноз К. С., Горюшкин В. Ф., Живаго Э. Я., Целлермаер В. Я.** Исследование процессов высокотемпературного окисления и обезуглероживания низколегированных борсодержащих сталей 20Г2Р и 30Г1Р при нагреве под прокатку № 4, с. 34 – 38
- Тересов А. Д. — см. Романов Д. А.
- Трушко В. Л., Утков В. А.** Руда для улучшения показателей аглодоменного производства . № 3, с. 35 – 37
- Тужиков Б. Л. — см. Ермаков И. С.
- Тюфтяев А. С. — см. Мухатдинов Н. Х.
- Тюфтяев А. С. — см. Щукина Л. Е.
- Утков В. А. — см. Трушко В. Л.
- Федотенкова О. Б. — см. Ершова И. О.
- Федотова Н. Л. — см. Арутюнян Н. А.
- Фейлер С. В. — см. Протопопов Е. В.
- Филиппов Г. А. — см. Браницкая Е. А.
- Филиппов Г. А. — см. Гетманова М. Е.
- Филиппов Г. А. — см. Ливанова Н. О.
- Филиппов Г. А. — см. Мухатдинов Н. Х.
- Филиппов Г. А. — см. Навценя В. Ю.
- Филиппов Г. А. — см. Синельников В. А.
- Филиппов Г. А. — см. Шабалов И. П.
- Филиппов Г. А. — см. Щукина Л. Е.
- Филиппов Г. А., Баева Л. А.** Конференция “Металловедение, технологии и применение высокопрочных сталей и сплавов” № 4, с. 110 – 112
- Филиппова В. П., Макушев С. Ю.** Анализ зависимости периода кристаллической решетки твердого раствора на основе α -Fe от концентраций растворенных элементов № 4, с. 74 – 81
- Филиппова М. В. — см. Перетягко В. Н.
- Филиппова М. В., Темлянец М. В., Перетягко В. Н.** Кривые течения аустенитной стали 08X18H10T при горячей деформации № 4, с. 104 – 109
- Фофанов А. А. — см. Ермаков И. С.
- Целлермаер В. Я. — см. Темлянец М. В.
- Червонный А. В., Рингинен Д. А., Астафьев Д. С., Эфрон Л. И.** Исследование горячей пластичности трубных микрелегированных сталей производства литейно-прокатного комплекса № 2, с. 49 – 56
- Черникова А. А., Лещинская А. Ф., Ломоносова Н. В.** Проблемы коммерциализации инновационных

- продуктов в условиях развития nanoиндустрии*
..... № 2, с. 80 – 87
- Чертов А. Д. — см. Голенков М. А.
Числавлев В. В. — см. Протопопов Е. В.
Шабалов И. П. — см. Ливанова Н. О.
**Шабалов И. П., Соловьев Д. М., Филиппов Г. А.,
Ливанова О. В.** *Влияние формовки в вальцах на
комплекс механических свойств металла электро-
сварных труб большого диаметра* № 1, с. 60 – 69
- Шапошников Н. Г. — см. Ящук С. В.
Шатохин И. М. — см. Щеголева Е. А.
Шевакин А. Ф. — см. Асеев М. А.
Шкурко Е. Ф. — см. Новосельская М. А.
Шлямнев А. П. — см. Браницкая Е. А.
- Щеголева Е. А., Шатохин И. М., Бигеев В. А.,
Манашев И. Р., Букреев А. Е.** *Получение азоти-
рованных лигатур на основе марганца для производства
низколегированных сталей* № 2, с. 5 – 8
- Щукина Л. Е., Сёмин А. Е., Тюфтяев А. С., Филиппов Г. А.**
*Влияние режимов плазменно-дугового переплава на
содержание азота в стали 10X8HMBФБ* №
..... 1, с. 46 – 49
- Эфрон Л. И. — см. Червонный А. В.
Юсупов Д. И. — см. Мухатдинов Н. Х.
- Ящук С. В., Лясоцкий И. В., Дьяконов Д. Л.,
Шапошников Н. Г.** *Эволюция микроструктуры
автолитовых HSLA сталей, подвергаемых терми-
ческой обработке в агрегатах непрерывного
действия* № 4, с. 82 – 91