

ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

СОДЕРЖАНИЕ

3 • 2016

Теоретические основы металлургии

И. Н. Гаверилин

Прогнозирование скорости реакций окисления и поведения продуктов окисления углерода по ходу кислородно-конвертерной плавки 5

Сырьевая база черной металлургии

Е. К. Мухамбетгалиев, С. О. Байсанов, В. Е. Роцин, А. С. Байсанов

Вовлечение некондиционного сырья в производство алюмосиликомарганца 11

Технологические процессы металлургии

А. В. Мунтин, А. В. Частухин, А. В. Червонный, В. В. Науменко, Л. И. Эфрон, Д. А. Рингинен

Разработка технологии производства рулонного проката трубного назначения класса прочности К60 в условиях литейно-прокатного комплекса 17

С. В. Невежин, В. С. Верхорубов, М. А. Филиппов, С. А. Терентьев,

Ю. Д. Щицын, Р. А. Саерай, И. Ю. Мальгина

Использование порошковых проволок для дуговой металлизации и плазменно-дугового напыления износостойких покрытий 26

П. П. Андреев, М. Ю. Язвицкий

Вопросы выплавки аморфных электротехнических сталей 33

А. В. Частухин, Д. А. Рингинен, Л. И. Эфрон, Д. С. Астафьев, С. В. Головин

Разработка моделей структурообразования аустенита для совершенствования стратегий горячей прокатки трубных сталей 39

Переработка техногенного сырья

А. В. Букин, А. Н. Серегин, А. В. ШUTOVA, И. Е. Ковалева

Разработка комплексной технологии получения ферросиликоалюминия и напрягающего портландцемента на основе металлургической переработки Североонежских бокситов Иксинского месторождения 54

Материаловедение и новые материалы

А. И. Зайцев, А. Б. Степанов, Н. А. Карамышева

Исследование влияния комплексных неметаллических включений на структурное состояние и свойства конструкционных сталей 62

С. В. Воробьев, А. М. Глезер, Д. А. Бессонов, С. В. Коновалов, В. Е. Громов, Ю. Ф. Иванов

Закономерности влияния электронно-пучковой обработки на фазовый состав и дефектную субструктуру стали 20Х13 при усталости 68

А. Б. Максимов, М. В. Гуляев, И. С. Ерохина

Циклический пластический изгиб широкого бруса 74

П. Г. Мартынов, М. Ю. Матросов, А. Б. Григорьева, А. Р. Мишетьян, В. В. Михеев

Влияние способа изготовления проката из стали типа 10Г2ФБ на микроструктуру, механические свойства и хладостойкость после отжига при температурах полной и неполной фазовой перекристаллизации 80

Наноматериалы и нанотехнологии

В. Б. Костерев, В. Я. Чинокалов, В. Е. Громов, С. В. Коновалов, Ю. Ф. Иванов, Е. В. Зенина

Механизмы формирования наноразмерных фаз и упрочнения низкоуглеродистой стали при термомеханической обработке 88

Контроль металлургического производства и металлопродукции

В. А. Макаров, Ю. С. Асадова, Р. Е. Тютяев

Метрологическое обеспечение средств контроля герметичности в металлопрокате 97

Информация

А. Н. Серегин

Международная конференция "Роль мини-производств опытных ферросплавов и лигатур при создании специальных сталей и сплавов" 101

PROBLEMS OF FERROUS METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE

CONTENT

3 • 2016

Fundamentals of metallurgy

I. N. Gavrilin

Prediction of oxidation reactions rates and behavior of oxidation products in the course of the LD process 5

Raw materials for ferrous metallurgy

E. K. Mukhambetgaliev, S. O. Baysanov, V. E. Roshchin, A. S. Baysanov

Involvement of sub-standard raw materials in production of aluminosilicomanganese 11

Production processes in metallurgy

A. V. Muntin, A. V. Chactukhin, A. V. Chervonnyj, V. V. Naumenko, L. I. Efron, D. A. Ringinen

Development of production technology of coiled stock of the strength class K60 for pipe destination at foundry-rolling complex 17

S. V. Nevezhin, V. S. Verkhorubov, M. A. Filippov, S. A. Terent'ev, Yu. D. Shitsyn, R. A. Savray, I. Yu. Malygina

Application of cored wires for arc metallization and plasma-arc spraying of wear-resistant coatings 26

P. P. Andreev, M. Yu. Yazvitskiy

Problems of smelting of amorphous electrical sheet steels 33

A. V. Chactukhin, D. A. Ringinen, L. I. Efron, D. S. Astaf'ev, S. V. Golovin

Development of models of austenite structuration for improvements to the strategy of pipe steels hot rolling 39

Recycling of technogenic raw materials

A. V. Bukin, A. N. Seregin, A. V. Shotova, I. E. Kovaleva

Development of complex technology for production of ferrosilicoaluminum and straining portland cement on the basis of the metallurgical processing Severoonezhsk bauxites of the Iksinsk deposit 54

Materials science and new materials

A. I. Zaitsev, A. B. Stepanov, N. A. Karamysheva

Investigation of the effects of complex nonmetallic inclusions on the structure state and properties of constructional steels 62

S. V. Vorobyev, A. M. Glezer, D. A. Bessonov, S. V. Kononov, V. E. Gromov, Yu. F. Ivanov

Regularities of influence of electron-beam treatment on the phase composition and defect substructure and steel 20Cr13 with when on fatigue 68

A. B. Maksimov, M. V. Gulyaev, I. S. Erokhina

Cyclic plastic bending of a wide bar 74

P. G. Martynov, M. Yu. Matrosov, A. B. Grigor'eva, A. R. Mishet'yan, V. V. Mikheev

Influence of the rolling mode of the 10Mn2VNb steel on the microstructure, mechanical properties and cold resistance after annealing at temperatures of complete and incomplete phase recrystallization 80

Nanomaterials and nanotechnologies

V. B. Kosterev, V. Ya. Chinokalov, V. E. Gromov, S. V. Kononov, Yu. F. Ivanov, E. V. Zenina

Mechanisms of forming nanosized phases and strengthening of low-carbon steel at thermomechanical treatment 88

Control of metallurgical manufacture and metal products

V. A. Makarov, Yu. S. Asadova, R. E. Tyutyayev

Metrological maintenance of devices for controlling tightness of rolled steel 97

Information

A. N. Seregin

International conference "A role of mini-productions of pilot ferroalloys and alloying compositions for preparation of special steels and alloys" 101

УДК 669.184.

Прогнозирование скорости реакций окисления и поведения продуктов окисления углерода по ходу кислородно-конвертерной плавки

И. Н. Гаврилин

115553, г. Москва, Нагатинская наб., д. 10, кв. 51. ilya-gavrilin@mail.ru

Представлены результаты использования статистических моделей временных рядов динамического типа для прогнозирования поведения основных компонентов и показателей газового анализа по ходу кислородно-конвертерной плавки.

Ключевые слова: ARIMA(X), ARDL(MA), GARCH, MAPE, итеративный прогноз, интервал прогнозирования, комбинированные модели.

The paper presents results of the use of statistical models of dynamic type time series for predicting the general behavior of main components and indicators of waste gases analysis in the course of the LD process.

Keywords: ARIMA(X), ARDL(MA), GARCH, MAPE, iterative prediction, interval of prediction, combined models.

УДК 669.15 – 198.

Вовлечение некондиционного сырья в производство алюмосиликомарганца

**Е. К. Мухамбеталиев^{1,2}, С. О. Байсанов¹, В. Е. Рощин²,
А. С. Байсанов¹**

¹ *Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева, г. Караганда, Республика Казахстан.
E-mail: mr._west@inbox.ru*

² *Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск.
E-mail: roshchinve@susu.ac.ru*

Приведены результаты отработки технологии получения алюмосиликомарганца, для выплавки которого использованы некондиционные высококремнезёмистые марганцевые руды месторождения Западный Камыс Республики Казахстан (РК). В качестве восстановителя и источника кремния и алюминия в шихте использованы высокосольные угли месторождения Сарыадыр РК. В результате проведения укрупненно-лабораторных испытаний получены комплексные сплавы, содержащие кремний, алюминий и марганец. Сплавы могут быть востребованы при металлотермическом получении ферромарганца рафинированных марок, а также для раскисления и легирования стали рядовых марок.

Ключевые слова: некондиционная марганцевая руда, высокосольный уголь, моношихта, алюмосиликомарганец.

Results of development of technology for producing aluminosilicomanganese by smelting sub-standard high-silica manganese ores from the Western Kamys deposit of the Republic Kazakhstan (RK). High-ash coals of the Saryadyr deposit of RK were used in the charge as reductants and sources of silicon and aluminum. The integrated laboratory research resulted in obtaining complex alloys containing silicon, aluminum and manganese. The alloys can be demanded for metallothermal production of ferromanganese of the refined brands and also for deoxidation and alloying of ordinary steels.

Keywords: sub-standard manganese ore, high-ash coal, furnace monocharge, aluminosilicomanganese.

УДК 669.046;621.77.04

Разработка технологии производства рулонного проката трубного назначения класса прочности К60 в условиях литейно-прокатного комплекса

**А. В. Мунтин¹, А. В. Частухин¹, А. В. Червонный¹,
В. В. Науменко¹, Л. И. Эфрон², Д. А. Рингинен¹**

¹АО "Выксунский металлургический завод", г. Выкса, Нижегородская обл.

E-mail: naumenko_vv@vsw.ru

²АО "Объединенная металлургическая компания", г. Москва.

Представлены результаты комплексных исследований в лабораторных и промышленных условиях рекристаллизации аустенита и фазовых превращений трубной стали, а также экспериментов в промышленных условиях стана 1950. Полученные результаты использованы для корректировки химического состава и режимов контролируемой прокатки для производства проката трубного назначения класса прочности К60 с гарантированной хладостойкостью при температурах $-20 \div -60$ °С в условиях литейно-прокатного комплекса АО "Объединенная металлургическая компания" (г. Выкса).

Ключевые слова: литейно-прокатный комплекс, низкоуглеродистая сталь, микролегированная сталь, контролируемая прокатка, рекристаллизация, микроструктура, механические свойства, хладостойкость.

The paper presents the results of comprehensive research of austenite recrystallization and phase transformations in a pipe steel conducted in laboratory and industrial conditions along with the results of industrial experiments at the 1950 mill. The obtained results were used for correction of the chemical composition and controlled rolling conditions of the steel with the aim of producing rolled stocks of the K60 grade for pipes with guaranteed cold resistance at $-20 \div -60$ °C at the foundry-rolling complex of the JSC "United Metallurgical Company" (Vyksa).

Keywords: foundry-rolling complex, low-carbon steel, microalloyed steel, controlled rolling, recrystallization, microstructure, mechanical properties, cold resistance.

УДК 621.793.72: 620.193.5

Использование порошковых проволок для дуговой металлизации и плазменно-дугового напыления износостойких покрытий

**С. В. Небезин¹, В. С. Верхорубов¹, М. А. Филиппов¹,
С. А. Терентьев², Ю. Д. Щицын², Р. А. Саврай³,
И. Ю. Малыгина³**

¹ Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург. E-mail: snevezhin@gmail.com, v.verkhorubov@mail.ru, filma1936@mail.ru.

² Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь. E-mail: svarka@pstu.ru.

³ Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург.

Определены коэффициент использования материала и производительность при распылении порошковых проволок системы легирования Fe – C – Cr – Ti – Al методами дуговой металлизации и плазменно-дугового напыления. Исследована взаимосвязь фазового состава, микроструктуры, физико-механических и служебных свойств покрытий из указанных проволок. Установлено, что износостойкость покрытий, полученных при распылении порошковых проволок, в несколько раз превышает износостойкость покрытий из сплошных проволок системы легирования Fe – C – Cr.

Ключевые слова: дуговая металлизация, плазменно-дуговое напыление, порошковая проволока, коэффициент использования материала, производительность напыления, износостойкие покрытия, адгезионная прочность, микротвердость покрытий.

The material utilization coefficient and productivity were determined for spraying cored wires from the Fe – C – Cr – Ti – Al alloying system by arc and plasma-arc techniques. Interrelation of phase composition, microstructure, physicomachanical and service properties of the coatings from the indicated wires was investigated. It was established that the wear resistance of the coatings produced by spraying of the cored wires is several times higher than the wear resistance of coatings from solid wires of the Fe – C – Cr alloying system.

Keywords: arc metallization, plasma-arc spraying, core wire, material utilization coefficient, spraying productivity, coatings wear-resistance, adhesive strength, coatings microhardness.

УДК: 669.411

Вопросы выплавки аморфных электротехнических сталей

П. П. Андреев¹, М. Ю. Язвический²

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

² ФГУП "Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов", г. Москва. E-mail: yazvitsky@mail.ru.

Работа посвящена вопросам рафинирования промышленных лигатур железо-бор и железо-бор-кремний-углерод и выплавки заготовок аморфизирующихся сплавов для производства аморфных электротехнических сплавов систем FeSiB и FeSiBC, а также аморфных и нанокристаллических сплавов. Приведены данные о влиянии состава традиционных и специальных шлаковых смесей на основе системы CaO – SiO₂ – B₂O₃ на угар основных легирующих элементов в промышленных лигатурах и заготовках для выплавки аморфизирующихся сплавов. Для выплавки промышленных лигатур для производства аморфных электротехнических сталей системы и аморфных и нанокристаллических сплавов для электроники может быть рекомендован состав шлаковой смеси: 44 – 46 масс. % CaO, 44 – 46 масс. % SiO₂, 8 – 12 масс. %, B₂O₃, раскисленный SiC.

Ключевые слова: аморфные электротехнические стали, нанокристаллические сплавы, шлакообразующие смеси, лигатура, химический состав, неметаллические включения.

The paper is devoted to problems of refining industrial alloying compositions iron-boron and iron-boron-silicon-carbon and smelting of ingots for production of amorphous electrical sheet steels of the FeSiB and FeSiBC systems and amorphous and nanocrystalline alloys as well. Data are presented about the influence of the composition of traditional and special slag mixtures based on the CaO – SiO₂ – B₂O₃ system on the loss of the main alloying elements in industrial alloying compositions and ingots for smelting amorphous alloys. The slag mixture (44 – 46 mass pct CaO + 44 – 46 mass pct SiO₂ + 8 – 12 mass pct B₂O₃) deoxidized with SiC was recommended for smelting of industrial alloying compositions required for production of amorphous electrical sheet steels, amorphous and nanocrystalline alloys for electronics.

Keywords: amorphous electrical sheet steels, nanocrystalline alloys, slag-forming mixtures, a alloying composition, chemical composition, nonmetallic inclusions.

УДК 669.017; 669.046.4; 621.77.04

Разработка моделей структурообразования аустенита для совершенствования стратегий горячей прокатки трубных сталей

А. В. Частухин¹, Д. А. Рингинен¹, Л. И. Эфрон²,
Д. С. Астафьев¹, С. В. Головин¹

¹АО "Выксунский металлургический завод", г. Выкса, Нижегородская обл.

E-mail: chastuhin_av@vsw.ru, ringinen_da@vsw.ru, astafev_ds@vsw.ru, golovin_sv@vsw.ru.

²АО "Объединенная металлургическая компания", г. Москва. E-mail: LEfron@omk.ru

Описан процесс разработки моделей динамической, метадинамической, статической рекристаллизации и размера рекристаллизованных зерен. Модели объединены в программный инструмент для оценки изменения среднего размера и однородности аустенитных зерен в ходе горячей прокатки, который учитывает взаимодействие процессов рекристаллизации, наличие остаточных напряжений в металле при частичной рекристаллизации и непрерывное охлаждение металла. Испытания с закалкой в комплексе Gleeble и в условиях лабораторного прокатного стана показали достаточно высокую корреляцию расчетных и экспериментальных значений среднего размера аустенитных зерен ($R = 0,88$). При помощи данного инструмента были разработаны новые стратегии черновой стадии прокатки в на стане 5000 АО "ВМЗ". Промышленное опробование одной из стратегий показало значительное повышение хладостойкости проката, предназначенного для производства труб категории прочности X65 по проекту Южный Поток.

Ключевые слова: контролируемая прокатка, микролегированная сталь, рекристаллизация, аустенит, моделирование, вязкость.

Process of modelling dynamic, metadynamic, static recrystallization and the size of recrystallized grains is described. The models are integrated into a program instrument for assessment of changes in the average size and uniformity of austenitic grains during hot rolling. The instrument takes into account interaction of the recrystallization processes, locked-in stresses forming in the metal during partial recrystallization and the metal continuous cooling. Tests with quenching at the Gleeble complex and in the conditions of a laboratory rolling mill have revealed a rather high correlation between calculated and experimental values of the average size of austenitic grains ($R = 0,88$). By means of this instrument new strategies have been developed for the roughing stage of rolling at the mill 5000 of JSC VSW. Industrial approbation of one of the strategies demonstrated a substantial increase in the cold resistance of the rolled stock destined for production of pipes of the X65 strength class in accord with the South Stream project.

Keywords: controlled rolling, microalloy steel, recrystallization, austenite, modeling, toughness.

УДК 669.168+666.946.1.

Разработка комплексной технологии получения ферросиликоалюминия и напрягающего портландцемента на основе металлургической переработки Североонежских бокситов Иксинского месторождения

А. В. Букин¹, А. Н. Серегин¹, А. В. Шутова², И. Е. Ковалева²

¹ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина», г. Москва. E-mail: ferrosplav@chermet.net

²ОАО «НИИЦемент», г. Подольск, Московская обл. E-mail: nii-cement@yandex.ru

Разработана комплексная технология получения ферросиликоалюминия и напрягающего портландцемента на основе металлургической переработки Североонежских бокситов с использованием расширяющейся алюминатной добавки. Определены характеристики размалываемости глиноземистого шлака путем изучения кинетики измельчения проб при помолу по сухому способу. Предложена общая схема переработки некондиционных бокситов для получения ферросиликоалюминия и напрягающего портландцемента.

Ключевые слова: бокситы, Иксинское месторождение, ферросиликоалюминий, напрягающий портландцемент, размалываемость, глиноземистый шлак, линейной расширение, клинкер, самоупрочнение.

Complex technology has been developed for producing ferrosilicoaluminum and straining portland cement on the basis of the metallurgical processing the Severoonezhsk bauxite with the use of the expanding aluminate additions. The grindability characteristics of alumina slag have been determined by investigating the kinetics of samples grinding in the course of dry crushing. A basic flowsheet has been proposed for of processing of sub-standard bauxites to obtain ferrosilicoaluminum and straining portland cement.

Keywords: bauxite, Iksinsk deposit, ferrosilicoaluminium, straining portland cement, grindability, alumina slag, linear expansion, hard-burnt brick, stressing.

УДК 669-422.11

Исследование влияния комплексных неметаллических включений на структурное состояние и свойства конструкционных сталей

А. И. Зайцев, А. Б. Степанов, Н. А. Карамышева

ФГУП “Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина”, г. Москва, aizaitsev1@yandex.ru

Выполнено исследование комплексных неметаллических включений (выделений) образующихся в современных конструкционных сталях. Показано, что, в зависимости от характеристик (тип, количество, размер, морфология, распределение по объему металла), такие включения могут оказывать от отрицательного, через нейтральное до весьма положительного влияние на получаемое структурное состояние и комплекс свойств стали. На базе методов управления характеристиками неметаллических включений разработан ряд эффективных технологий производства ряда автолистовых, трубных, плакированных сталей с высоким и стабильным комплексом трудно-сочетаемых механических и других служебных свойств при снижении затрат.

Ключевые слова: конструкционные стали, неметаллические включения, выделения комплексного состава, структурное состояние, механические свойства, служебные свойства, технология производства.

Complex nonmetallic inclusions (precipitates) forming in contemporary constructional steels have been studied. It has been established that depending on their characteristics (type, amounts, size, morphology, volume distribution) the inclusions might affect negatively, neutrally or highly positively on the resulting structure state and complex of properties of steels. Using procedures for controlling nonmetallic inclusions characteristics a series of effective technologies has been developed for producing automobile sheet, pipe, clad steels with high and stable complex of mechanical and other working properties which is difficult to combine. The production expenses were also decreased.

Keywords: constructional steels, nonmetallic inclusions, precipitates of complex composition, structure state, mechanical properties, working properties, production technology.

УДК 669.04

Закономерности влияния электронно-пучковой обработки на фазовый состав и дефектную субструктуру стали 20Х13 при усталости

**С. В. Воробьев¹, А. М. Глезер², Д. А. Бессонов¹,
С. В. Коновалов¹, В. Е. Громов¹, Ю. Ф. Иванов^{3,4}**

¹Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк.

E-mail: gromov@physics.sibsiu.ru.

²ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина», г. Москва. E-mail: a.glezer@mail.ru.

³Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск.

E-mail: yufi55@mail.ru.

⁴Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск. E-mail: yufi55@mail.ru.

Методами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии проведен анализ влияния электронно-пучковой обработки на формирование структуры, фазового состава и дефектной субструктуры стали 20Х13, проанализировано изменение данных параметров при многоциклового усталости. Показано, что при электронно-пучковой обработке стали 20Х13 формируется градиентная структура, характеризующаяся закономерным изменением фазового состава и параметров дефектной субструктуры по мере удаления от поверхности облучения. Причинами повышения усталостной долговечности стали являются измельчение зеренной и субзеренной структуры; растворение частиц карбидной фазы в поверхностном слое, инициированное электронно-пучковой обработкой.

Ключевые слова: электронно-пучковая обработка, сталь 20Х13, дефектная субструктура, фазовый состав, усталостная долговечность.

Methods of scanning and transmission electron microscopy were applied for analyzing the effect of electron-beam treatment on the formation of the structure, phase composition and defect substructure in the 20Cr13 steel. Changes in these features during high-cycle fatigue were studied. It has been shown that the electron-beam processing of the 20Cr13 steel results in forming gradient structure which is characterized by regular change in the phase composition and the defect substructure parameters with moving away from the radiation surface. The causes for increasing the fatigue life of the steel are the grinding of grain and subgrain structures, the dissolution of the carbide phase particles in the surface layer initiated by the electron-beam- processing.

Keywords: electron-beam treatment, chromium steel, defect substructure, phase composition, fatigue durability.

УДК 621.771.23.09

Циклический пластический изгиб широкого бруса

А. Б. Максимов, М. В. Гуляев, И. С. Ерохина

*ФГБОУ ВО “Керченский государственный морской технологический университет”,
Республика Крым, г. Керчь. E-mail: aleksandrmks@yandex.ru*

В работе представлены экспериментальные данные свидетельствующие, что при циклическом чистом изгибе бруса микротрещины в поверхностном слое металла возникают позже, чем при циклическом растяжении – сжатии при такой же амплитуде деформации. На поверхности циклически деформированных изгибом образцов возникают остаточные напряжения сжатия, а в центральной части образца – растягивающие. Использование эффектов второго порядка (нелинейной теории пластичности) позволяет предполагать плосконапряженное состояние бруса при пластическом изгибе. В этом случае в растянутой области в нормальном направлении действуют напряжения растяжения, а в радиальном – сжатия. В сжатой области также существует плоское напряженное состояние: в нормальном и радиальном направлениях действуют напряжения сжатия. Этим объясняется, что сопротивление растяжению меньше, чем сжатию и поэтому нейтральная линия деформации смещается в сторону сжатых волокон. Кроме того, схема напряженного состояния в растянутой области способствует повышению пластичности по сравнению с одноосным растяжением. Вследствие этого разрушение при циклическом растяжении-сжатии происходит раньше, чем при циклическом изгибе.

Ключевые слова: циклический изгиб, циклическое растяжение-сжатие, эффекты второго порядка при изгибе, разрушение, низколегированные стали.

The paper presents experimental data demonstrating that in the course of cyclic pure bending of a bar microcracks in the metal surface layer appear later, than at cyclic stretching – compression with the same deformation amplitude. More later emergence of microcracks indicates probably to an increase in the metal plasticity. Residual compression stresses appear on the surface of the cyclically bended samples but tensile stresses – in the samples central part. Use of the second order effects of the nonlinear theory of plasticity allows assuming plane-stressed state of the bar at the plastic bending. In this case tensile stresses act in the stretched area in the normal direction, but compression stresses - in radial direction. The plane-stressed state occurs also in the compressed area: compression stresses act in both the normal and radial directions. These explain the fact that the tensile strength is less than the compression one and because of this the neutral line of deformation shifts towards compressed fibers. Besides, the scheme of the stressed state in the stretched area is favorable to increasing plasticity in comparison with uniaxial stretching. As a consequence destruction at cyclic stretching - compression occurs earlier, than at a cyclic bending.

Keywords: cyclic bending, cyclic stretching – compression, second order effects at bending, destruction, low-alloy steels.

УДК 669.14.018.41

Влияние способа изготовления проката из стали типа 10Г2ФБ на микроструктуру, механические свойства и хладостойкость после отжига при температурах полной и неполной фазовой перекристаллизации

**П. Г. Мартынов¹, М. Ю. Матросов¹, А. Б. Григорьева¹,
А. Р. Мишетьян¹, В. В. Михеев²**

¹ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г. Москва. E-mail: pscenter@chermet.net

² АО «Северсталь менеджмент», г. Москва, ул. Клары Цеткин, д. 2.

Исследовано влияние дополнительной термообработки (отжига 2-го рода) при температурах 750 – 1000 °С на размер зерна трубной стали, изготовленной способами горячей прокатки (ГП), низкотемпературной контролируемой прокатки (НКП) и контролируемой прокатки с ускоренным охлаждением (КП+УО). Оценка размера зерна после термообработки показала, что сталь, изготовленная по режимам НКП и КП+УО, после проведения отжига до температуры 900 °С и ниже имеет более мелкозернистую структуру, чем горячекатаная сталь. Листы, изготовленные способами НКП и КП+УО, после отжига при температурах 750 – 900 °С имеют значительно более высокий уровень ударной вязкости и хладостойкости, чем после горячей прокатки. Это, очевидно, является следствием формирования более мелкозернистой микроструктуры после термообработки.

Ключевые слова: трубная сталь, отжиг 2-го рода, горячая прокатка, контролируемая прокатка, микроструктура, механические свойства.

Influence of additional heat treatment (annealing of the secondary type) at temperatures 750 – 1000 °C has been investigated on the grain size of pipe steel produced by hot rolling (HR), low-temperature controlled rolling (LTCR) and controlled rolling with the accelerated cooling (CR+AC). The grain size assessment after the heat treatment has revealed that the steel produced by LTCR and CR+AC modes is characterized after annealing at 900 °C and below by a more fine-grained structure than the hot-rolled steel. Sheets produced through LTCR and CR+AC conditions have after annealing at 750 – 900 °C a considerably higher level of the impact strength and cold resistance, than after hot rolling. This is obviously a consequence of forming a more fine-grained microstructure after the heat treatment.

Keywords: pipe steel, annealing of the second type, hot rolling, controlled rolling, microstructure, mechanical properties.

УДК 621.77: 539.21

Механизмы формирования наноразмерных фаз и упрочнения низкоуглеродистой стали при термомеханической обработке

**В. Б. Костерев¹, В. Я. Чинокалов¹, В. Е. Громов²,
С. В. Коновалов², Ю. Ф. Иванов^{3,4}, Е. В. Зенина²**

¹ОАО «Евраз-объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат», г. Новокузнецк.
E-mail: Vadim.Kosterev@evraz.com.

²Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк.
E-mail: gromov@physics.sibsiu.ru

³Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск. E-mail: yufi55@mail.ru

⁴Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск.

Установлены количественные закономерности формирования градиентов дислокационных субструктур и структурно-фазовых состояний при послойном электронно-микроскопическом анализе термомеханически упрочненной двутавровой балки из низкоуглеродистой стали. Выполнен анализ процессов, приводящих к формированию наноразмерных фаз при термомеханическом упрочнении. Выявлены физические механизмы упрочнения, реализующиеся при термомеханической обработке двутавровой балки из низкоуглеродистой стали по режиму ускоренного охлаждения.

Ключевые слова: упрочнение, термомеханическая обработка, низкоуглеродистая сталь, наноразмерная фаза.

Quantitative regularities of formation of dislocation substructures gradients and structure-phase states have been established in the course of a layer-by-layer transmission electron microscopy analysis of a thermomechanically strengthened H-beam from low-carbon steel. Processes have been studied that lead to formation of nanosized phases during thermomechanical strengthening. The physical strengthening mechanisms have been revealed that realize at thermomechanical treatment with accelerated cooling of low-carbon H-beams.

Keywords: strengthening, thermomechanical treatment, low-carbon steel, nanosized phase.

УДК 621.896-82-762.

Метрологическое обеспечение средств контроля герметичности в металлопрокате

В. А. Макаров, Ю. С. Асадова, Р. Е. Тютяев

ФГБОУ ВО "Московский технологический университет", г. Москва. E-mail: himtest@mail.ru

С целью уменьшения погрешностей при калибровке газоаналитических течеискателей предлагается метод, основанный на переносе определенного количества молекул из измерительной камеры, которая проверяется на герметичность, через дроссельное устройство, называемое частотным сопротивлением.

Ключевые слова: течеискатель, калибровка, герметичность, контроль герметичности, металлоконструкция.

In order to reduce the errors in the calibration of gas analyzing leak detectors a method was proposed based on the transfer of a certain number of molecules from the measuring chamber, which is checked for leaks, through a throttling device, called a frequency resistance.

Keywords: leak detector, calibration, tightness, control of tightness, metal structure.

Международная конференция “Роль мини-производств опытных ферросплавов и лигатур при создании специальных сталей и сплавов”

А. Н. Серегин

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

24 – 25 мая 2016 г. ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П.Бардина” провел Международную конференцию “Роль мини-производств опытных ферросплавов и лигатур при создании специальных сталей и сплавов”. Для участия в конференции были приглашены ведущие специалисты России и СНГ из академических и отраслевых научно-исследовательских институтов, университетов, а также представители металлургических компаний.

Конференция рассмотрела важные проблемы:

- Отсутствие новых предприятий по переработке сырья для производства легирующих и редких металлов;
- Остановка или замедление лицензионных работ на многих месторождениях;
- Отсутствие освоения новых технологий производства металлопродукции;
- Продолжение импорта оборудования и технологий из-за рубежа при наличии российских аналогов.

Эти проблемы рассмотрены на примере ферросплавной подотрасли, так как именно здесь, по некоторым материалам, ситуация наиболее острая. Предприятия России находятся в зависимости от импорта марганцевых сплавов и рудных концентратов, хромового сырья, сплавов ниобия, титанового сырья, сплавов РЗМ и ряда других элементов.

Разработка собственных технологий производства ферросплавов из российского сырья упирается в проблему низкого качества российских руд,

переработка которых традиционными способами не позволяет получать продукцию конкурентоспособную с импортной. Технологии, разработанные в лабораториях, должны пройти опытно-промышленное опробование с получением партий материалов, достаточных для испытаний у потребителя. Только в этом случае риски инвесторов становятся приемлемыми для промышленного освоения новых технологий.

На конференцию впервые были приглашены специалисты разных направлений — технологи-обогащители, металлурги, разработчики механического и электропечного оборудования, аналитического оборудования и методик анализа.

Открывал конференцию и.о. Генерального директора ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П.Бардина” В.А. Углов. В своем выступлении он отметил, что большинство крупных месторождений хрома, марганца, титана оказались за рубежом. Изменение структуры российского рынка металла привели к прекращению производства чистых металлов, сплавов и лигатур с ниобием, РЗМ, кобальтом, вольфрамом, цирконием, и др. Однако начиная с 2000 г., в стране реализуется курс на восстановление и развитие базовых высокотехнологичных отраслей промышленности на основе новейших технологических разработок. Отсутствие легирующих сплавов сдерживает развитие многих отраслей. Изменение вида и состава сырьевых ресурсов, новые требования по составу и качеству требуют проведения широких и

глубоких исследований в направлении разработки технологии производства комплексных сплавов, создания новых видов такой продукции.

К настоящему времени специалистами ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина" с привлечением ведущих специалистов и предприятий-инвесторов разрабатывается комплекс передовых технологий, которые позволят получать из бедных российских руд и техногенного сырья всю основную номенклатуру комплексных легирующих сплавов, конкурентную на мировом рынке по качеству и себестоимости. Технологии этого комплекса обеспечат глубокую переработку сырья и экологическую безопасность.

По направлению разработки технологий и видов легирующих сплавов в ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина" сконцентрированы все направления: технологии подготовки и обогащения сырья; электропечной плавки; внепечной выплавки; производства редких, новых и комплексных ферросплавов, включая производство "чистых" и особо чистых металлов переplавными и электролизными процессами; технологии химического передела; разработки новых металлургических агрегатов.

ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина" имеет опытное малотоннажное производство специальных лигатур и чистых металлов. На опытном производстве разрабатываются базовые технологии и выпускаются опытные малотоннажные партии металлов. Разработанные технологии внедряются (тиражируются) при создании более масштабных производств, а производимые партии металлов позволяют опробовать их применение при выпуске широкого сортамента товарной продукции, оперативно и планомерно решать вопросы поставки уникальных специальных сплавов для ликвидации острого дефицита и обеспечить импортозамещение.

Практика показала, что производство небольших партий (до 1 т) комплексных лигатур и чистых металлов экономически невыгодно создавать на крупных ферросплавных заводах. Необходимо организовывать небольшие предприятия, причем, наиболее эффективно создавать не новое производство, а при сравнительно низких финансовых затратах провести техническое перевооружение и модернизацию существующего оборудования. Потребителями продукции малотоннажного производства будут, в первую очередь, предприятия оборонного комплекса и ведущие заводы спецметаллургии России.

В докладе А.Н. Серегина (ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина") отмечалось, что ключевой момент инноваций — доведение разработок до опытно-промышленного опробования, так как при положительном результате опытно-промышленного опробования

риски внедрения НИР снижаются до 7–10 %, то есть становятся вполне приемлемыми. Именно так построено продвижение разработок в крупных корпорациях. Например, корпорация "US Steel" имеет 4 исследовательских центра: исследовательский технологический центр в Мунхале (Пенсильвания); автомобильный исследовательский центр в г. Троя (Мичиган); инновационный и технологический центр трубной продукции в г. Хьюстон (Техас) и исследовательский центр в г. Кошице (Чехия). В КНР развиты мощные центры, финансируемые государством. Корпорация "Beijing Shenwu Environment & Energy Technology Corp." является государственным предприятием и специализируется на разработке и внедрении технологий переработки металлургического сырья. Область деятельности включает в себя: проведение научно-исследовательских работ; детальное проектирование и разработку технологий; изготовление и закупку оборудования; управление и контроль за объектами; эксплуатацию и сервисное обслуживание, то есть весь комплекс работ. Более чем за 10 лет развития корпорацией завершено более 700 объектов по проектированию и генеральному подряду промышленных печей для крупных и средних промышленных предприятий с большим энергопотреблением в Китае и других странах мира. В корпорацию входит научно-исследовательский институт и уникальная опытно-промышленная лаборатория, состоящая из комплекса цехов с опытно-промышленным оборудованием. Ориентировочная стоимость только основного технологического оборудования более 200 млн долл. В лаборатории установлены 13 опытно-промышленных экспериментальных установок.

Таким образом, создание опытно-промышленных производств — ключевое звено процесса внедрения новых технологий, материалов в производство.

Далее А.Н. Серегин остановился на созданном в ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина" опытно-промышленном участке выплавки ферросплавов и спецлигатур. В составе участка:

— Оборудование подготовки материалов, включая дробление, размол, фракционирование, компактирование и обжиг материалов;

— Правильное оборудование, включая печи постоянного тока, печи переменного тока, индукционную печь и комплекс внепечной выплавки сплавов;

— Аналитическая лаборатория, имеющая оборудование рентгеноспектрального анализа, атомно-эмиссионного анализа, химического анализа углерода, серы и газовых включений — кислород, азот, водород;

— Оборудование для исследования металлургических свойств сплавов, включая дериватографы, вакуумные печи; анализ состава газовых выбросов и механических свойств кусковых материалов.

Созданный комплекс решает задачи полного цикла производства от руды до сплава и его применения любого уровня сложности.

В докладе С.М. Нехамина (ООО "НПФ КОМТЕРМ") были освещены вопросы создания нового плавильного оборудования малой единичной мощности, которое может успешно использоваться на опытных и малотоннажных производствах. Это печи переменного тока, комплекс печи постоянного тока со сменными ваннами для углетермических, металлотермических и рафинировочных процессов, обжиговые печи.

В докладе И.В. Костенко (ЗАО "Налхо Техно") рассмотрены вопросы выбора аналитического оборудования. Предлагаемые анализаторы C, S, O, N, H производства немецкой компании "NCS Germany" не уступают по качеству и аналитическим характеристикам известным брендам. Рентгенофлуоресцентный спектрометр PANalytical серии AxiosmAX (с 2015 г. — Zetium) успешно установлен во ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина". Он позволяет проводить анализ любых материалов от Be до Am, имеет стандарты и калибровки для всех видов исследований и наилучшие среди аналогов аналитические характеристики: чувствительность, сходимост и т.п. Прибор оснащен защитой внутренних компонентов спектрометра от пыли при анализе спрессованных таблеток. Кроме этого для увеличения точности имеются методики подготовки образцов методом сплавления.

В докладе ФГБУ "ВИМС", сделанном Чепрасовым И.В., обсуждалась проблема обеспечения производства хромовых сплавов из сырья Российских месторождений.

Л.И. Полянский (ЗАО "СПАЙДЕРМАШ") привел информацию о новых разработках дробильно-размольного оборудования, в том числе для опытных производств, подробно остановился на брикет-прессах, установленных на опытном производстве ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина".

В.Е. Рошин (Южно-Уральский государственный университет "НИУ") представил новые подходы к извлечению металлов из бедных руд и техногенных отходов. На основе представлений физики твёрдого тела и физики металлов о несовершенных кристаллах, квантовой механики о распределении электронной плотности в металлах и ионных полупроводниках им разработаны новые научные принципы твердофазного селективного восстановления металлов в кристаллической решетке оксидов и базирующиеся

на этом основы безотходной технологии переработки комплексных руд. Докладчик представил технологию получения феррохрома в твёрдом виде при предвосстановлении, довосстановлении и плавении в электропечи постоянного тока. К ожидаемым результатам В.Е. Рошин отнес использование мелких классов хромового сырья и дешевых восстановителей (угля).

В.П. Кондрашов (ООО "Электротехникс") в своем докладе презентовал разработанные и изготовленные печи Таммана для высокотемпературных исследований в вакууме и среде инертного газа, установленные в "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина". Все элементы электропечи, за исключением шкафов управления и водяных коллекторов, смонтированы на общей раме, образуя компактный монтажно-транспортный узел. Печи автоматизированы, управление всеми элементами электропечи производится от блоков, расположенных на передней стороне шкафа управления.

М.И. Мельник (ООО "Энерголаб") в своем выступлении продемонстрировал имеющееся оборудование компании "Agilent Technologies", авторизованным дистрибьютором которой является ООО "Энерголаб". Приборы "Agilent Technologies" могут решать сложные исследовательские и прикладные задачи. Все оборудование "Agilent Technologies" обеспечивает высокую скорость анализа и, соответственно, высокую производительность, также достигается высокая чувствительность измерений. Оборудование обладает низкой стоимостью эксплуатации: лаборатории удалось добиться снижения потребления газа и понизить стоимость обслуживания приборов. Кроме этого докладчик представил новейшую разработку "Agilent Technologies" — прибор Agilent 5110 ИСП-ОЭС, обладающий интегрированной системой оптимизации потоков для максимальной производительности, улучшенной диагностикой состояния инструмента для увеличения продолжительности бесперебойной работы системой IntelliQuant для быстрого скрининга и полуколичественного анализа по всем элементам, что обеспечивает максимальную производительность и аналитическую эффективность.

Е.М. Ребиков (ООО "НПФ КОМТЕРМ") в своем докладе рассказал о созданной ООО "НПФ КОМТЕРМ" принципиально новой вращающейся дуговой печи, предназначенной для высокотемпературного обжига порошкообразных и кусковых материалов, дуговой плавки и проведения твердофазных, гетерофазных и жидкофазных эндотермических окислительно-восстановительных реакций. Разработанная печь сочетает в себе возможность косвенного и прямого электродугового нагрева, расплавления шихты с одновременным замешиванием расплава со шлаком.

Высока актуальность применения разработанной высокопроизводительной печи для получения свежееобожженной кусковой извести. Кроме этого перспективно применение вращающейся электродуговой печи для восстановительного обжига руд, концентратов и металлизации окатышей.

П.Г. Мин (ФГУП "ВИАМ") представил разработанную во ФГУП "ВИАМ" технологию получения лигатур Ni-PЗМ для НЖС. Технология запатентована и передана в производство. Она обеспечивает получение лигатуры со стабильным химическим составом, близким к расчетному, высокой чистотой по вредным примесям и однородным распределением содержания РЗМ по всему объему слитка. Эффективность лигатур, полученных по разработанной технологии, была подтверждена при рафинировании жаропрочных литейных и деформируемых никелевых сплавов в вакуумной индукционной печи.

К.А. Кологривев (ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина") представил результаты работ на опытной электродуговой двухэлектродной печи переменного тока. Было проведено несколько кампаний плавок, моделирующих различные процессы, например, углетермическую выплавку ферросилиция различного состава, выплавку рудно-известкового расплава (РИР) с высоким отношением оксида хрома к оксиду железа, металлотермическую выплавку феррохрома из РИР. В ходе освоения комплекса были выявлены оптимальные параметры печи для каждого процесса.

Интересные результаты в своем докладе представил А.С. Кириченко (ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина"). Внедрение разработанной и запатентованной технологии переработки автомобильных катализаторов позволит сократить затраты на передел при извлечении благородных металлов из автомобильных катализаторов. Так же докладчик рассказал об особенностях замены плазменной печи на электропечь постоянного тока, проведенной в условиях опытного производства ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П.Бардина".

В рамках конференции также прошло ознакомление с опытным производством лигатур в ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П.Бардина", продемонстрировано действующее оборудование экспериментального комплекса: рентгенофлуоресцентный анализ; оборудование для определения С, S, O, N, H; оборудование пробоподготовки и шихтоподготовки; установка внепечной выплавки; лаборатория химических методов анализа. Показаны имеющиеся печи комплекса. В ходе практической части конференции была продемонстрирована выплавка ФС75 на дуговой двухэлектродной печи.

Конференция вызвала большой интерес участников и впервые объединила разные направления исследований и разработок от геологии до выплавки сплавов. Особо следует отметить сочетание традиционных докладов и дискуссий с практической частью – демонстрацией оборудования в работе.