

ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

СОДЕРЖАНИЕ

3 • 2015

Теоретические основы металлургии

**Д. А. Романов, Е. Н. Гончарова, Е. А. Будовских,
В. Е. Громов, Ю. Ф. Иванов, А. Д. Тересов**

Анализ структуры электровзрывных композиционных покрытий системы TiC – Mo после электронно-пучковой обработки 5

Технологические процессы металлургии

А. Н. Серегин

Разработка комплекса технологических решений, обеспечивающих импортозамещение марганцевой продукции. Часть 1. Анализ рынка марганца и проблемы обеспечения России марганцевой продукцией 15

Г. Н. Гурьянов, Б. М. Зуев

Совершенствование технологии производства коррозионно-стойкой проволоки для скважин нефти и газа 29

В. Н. Антонов, Ф. Г. Ибрагимов

Сушка монолитных огнеупоров при одностороннем нагреве 32

В. Л. Трушко, В. А. Утков

Руда для улучшения показателей аглодоменного производства 35

В. П. Виноградов, И. М. Кацер, Г. С. Гуляева, В. А. Парамонов, Т. П. Москвина, Р. Х. Илалова

Сульфаминовый электролит лужения жести — от идеи до промышленного производства 38

Контроль металлургического производства и металлопродукции

Ю. Е. Воронцов

Управление динамикой нагрева стали в двухзонной электрической печи сопротивления с детерминированным регулятором температуры 54

Материаловедение и новые материалы

Ю. Ф. Иванов, К. В. Морозов, О. А. Перегудов,

В. Е. Громов, Н. А. Попова, Е. Л. Никоненко

Формирование структурно-фазовых градиентов в рельсах при длительной эксплуатации 59

Е. А. Браницкая, В. В. Гук, Ю. А. Пак, Г. А. Филиппов, А. П. Шлямнев

Влияние редкоземельных элементов на комплекс механических свойств и коррозионную стойкость низкоуглеродистой азотосодержащей нержавеющей стали 65

Н. А. Арутюнян, А. И. Зайцев, С. Ф. Дунаев, К. Б. Калмыков, Ф. С. Моисеев, Н. Л. Федотова

Исследование быстрозакаленных сплавов $Zr_{67}Ni_{30}Si_3$ и $Zr_{64}Ni_{30}Si_6$ 70

В. Е. Громов, Е. Н. Никитина, Ю. Ф. Иванов

Эволюция карбидной и дефектной подсистем стали с бейнитной структурой при деформации 74

Информация

ВНИИМЕТМАШ на современном этапе развития 81

PROBLEMS OF FERROUS METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE

CONTENT

3 • 2015

Fundamentals of metallurgy

D.A. Romanov, E.N. Goncharova, E.A. Budovskikh, V.E. Gromov, Y.F. Ivanov, A.D. Teresov

Structural analysis of electroexplosive composite coatings of TiC-Mo system after electron-beam treatment ... 5

Production processes in metallurgy

A.N. Seregin

Development of a process solution system for import substitution of manganese products 15

G. N. Guryanov, B. M. Zuev

Improvement of production technology of corrosion resistant wire for oil&gas wells 28

V.N. Antonov, F.G. Ibragimov

Drying of monolithic refractories upon one-sided heating 32

V. L. Trushko, V. A. Utkov

Ore for improving of iron-making production 35

V.P. Vinogradov, I.M. Katzer, G.S. Gulyaeva, V.A. Paramonov, T.P. Moskvina, R.Kh. Ilalova

Sulfamate tin plating bath – from idea to industrial production 38

Control of metallurgical manufacture and metal products

E. Yu. Vorontsov

The control of steel heating dynamics in two-zone electric furnace of resistance with determined adaptive temperature regulator 54

Materials science and new materials

Yu.F. Ivanov, K.V. Morozov, O.A. Peregudov, V.E. Gromov, N.A. Popova, E.L. Nikokenko

Structure-phase gradients formation in rails under the long operation 59

E.A. Branitskaya, V.V. Guk, Yu.A. Pak, G.A. Fillipov, A.P. Shlyamnev

Effect of rare earth elements on the complex of mechanical properties and corrosion resistance of nitrogen-containing low-carbon stainless steel 65

N.A. Arutyunyan, A.I. Zaitsev, S.F. Dunaev, K.B. Kalmykov, F.S. Moiseev, N.L. Fedotova

Investigation of rapidly quenched $Zr_{67}Ni_{30}Si_3$ and $Zr_{64}Ni_{30}Si_6$ alloys 70

V. E. Gromov, E. N. Nikitina, Yu. F. Ivanov

Evolution stages of carbide and defect steel subsystems with bainite structure under deformation 74

Information

VNIIMETMASH at the present stage of development 81

УДК 621.785:669.1.08.29

Анализ структуры электровзрывных композиционных покрытий системы TiC – Mo после электронно-пучковой обработки

**Д. А. Романов¹, Е. Н. Гончарова¹, Е. А. Будовских¹,
В. Е. Громов¹, Ю. Ф. Иванов^{2,3}, А. Д. Тересов^{2,3}**

¹ *Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк.
E-mail: romanov_da@physics.sibsiu.ru*

² *Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск.*

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

Проведено модифицирование высокоинтенсивным электронным пучком электровзрывных композиционных покрытий системы TiC – Mo. Выполнены исследования фазового и элементного состава поверхностного слоя стали Hardox 450, подвергнутого электровзрывному напылению композиционным покрытием системы TiC – Mo и последующему облучению высокоинтенсивным электронным пучком субмиллисекундной длительности. Установлены режимы электронно-пучковой обработки, позволяющие формировать плотные (с зеркальным блеском) поверхностные слои, обладающие субмикроструктурной структурой на основе карбида титана и молибдена. Выполненные исследования показывают, что электронно-пучковая обработка электровзрывного покрытия, осуществляемая в режиме плавления, приводит к формированию структурно- и концентрационнооднородного поверхностного слоя.

Ключевые слова: электровзрывное напыление, электронно-пучковая обработка, карбид титана, молибден, структура.

Modified electric-explosive composite coatings of TiC–Mo system with high intensity electronic beam. Completed research of phase and element composition of the surface layer of Hardox 450 steel subjected to electroexplosive application of composite coating of TiC–Mo system followed by effect of high intensity electronic beam of sub-millisecond duration. Discovered electron beam treatment modes enabling generation of full glossy dense surface layers with sub-microcrystalline structure based on titanium carbide and molybdenum. Completed research shows that electron beam treatment of electroexplosive coating in smelting mode results in generation of structural and uniform concentration surface layer.

Keywords: electroexplosivedeposition, electron beam treatment, titanium carbide,molybdenum, structure.

УДК 669.168

**Разработка комплекса
технологических решений,
обеспечивающих импортозамещение
марганцевой продукции.
Часть 1. Анализ рынка марганца и
проблемы обеспечения России
марганцевой продукцией**

А. Н. Серегин

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

Проведен анализ сфер применения марганца для производства сталей и сплавов. Исследованы закономерности развития производства марганцевых сплавов в зависимости от различных факторов. Анализируется структура производства и потребления марганцевых руды и сплавов, в том числе по странам, компаниям, видам сплавов. Обсуждаются динамика изменения цен на различные виды марганцевой продукции и факторы, влияющие на ценообразование. Детально анализируется обеспечение промышленности России марганцевыми сплавами, включая сырье, производителей сплавов, освоенные и разрабатываемые технологии.

Ключевые слова: марганец, марганцевая руда, марганцевые сплавы, ферромарганец, силикомарганец, марганец металлический, электролитический марганец

The applications of manganese for the production of steels and alloys were analyzed. The regularities of development of manganese alloys production were investigated depending on various factors. The structure of production and consumption of manganese ore and alloys, including countries, companies, types of alloys were analyzed. The change price movement on different types of manganese products and factors influencing the pricing was discussed. The support of Russian industry of manganese alloys, including raw materials, manufacturers of alloys, developed and developing technologies were analyzed.

Keywords: manganese, manganese ore, manganese alloys, ferromanganese, silicon manganese, manganese metal, electrolytic manganese

УДК 621. 771

Совершенствование технологии производства коррозионно-стойкой проволоки для скважин нефти и газа

Г. Н. Гурьянов, Б. М. Зуев

ОАО "НИИМетиз", г. Магнитогорск. E-mail: ggnbelorhome@rambler.ru

Показано влияние режимов изготовления проволоки из легированных сталей на стойкость к коррозионному растрескиванию в сероводородсодержащих средах. Дополнительная обработка проволоки на готовом размере существенно повышает её коррозионную стойкость.

Ключевые слова: проволока, канат, сероводород, растягивающие напряжения, сульфидное растрескивание, скважинные работы, дополнительная обработка, эксплуатационная стойкость.

Demonstrates the impact of wire production of alloyed steels on resistance to corrosion cracking in hydrogen sulfide-containing environments. Additional processing of finished wire significantly improves its corrosion resistance.

Keywords: wire, rope, hydrogen sulfide, tension stress, sulfide cracking, well work, additional processing, service durability.

УДК 666.76.047.4/6

Сушка монолитных огнеупоров при одностороннем нагреве

В. Н. Антонов, Ф. Г. Ибрагимов

*Магнитогорский государственный технический университет им Г.И.Носова, г. Магнитогорск.
E-mail: ties_magtu@mail.ru*

Приведено аналитическое описание процесса сушки монолитных огнеупорных материалов при одностороннем интенсивном нагреве. Выведены зависимости, позволяющие определить изменение температуры на нагреваемой поверхности от времени при поддержании постоянной скорости продвижения фронта испарения (сушки) и продолжительности сушки материала определенной толщины.

Ключевые слова: сушка, фронт испарения, продолжительность сушки, распределение температур.

An analytical description of drying process of monolithic refractory substances upon one-side heating has been produced in the article. Relations that help to determine the change of temperature on the heated surface depending on time while maintaining constant velocity of advancing drying front and duration of drying of certain thickness layer of substance have been deduced as well.

Keywords: drying, evaporation front, continuation of drying, temperature distribution.

УДК 622.76: 669.712.1

Руда для улучшения показателей аглодоменного производства

В. Л. Трушко, В. А. Утков

Национальный минерально-сырьевой университет "Горный", г. Санкт-Петербург. E-mail: trushko@spmi.ru; kafmetall@mail.ru

Увеличение доли железорудных концентратов в составе агломерационных шихт ухудшает их газопроницаемость. В результате уменьшаются скорость спекания и производительность агломерационных машин. Снижаются прочность агломерата и технико-экономические показатели работы доменных печей. Для повышения газопроницаемости аглошихты применяют комкующие добавки. Но они зачастую отрицательно влияют на содержание в агломерате железа. Исследовано влияние на окомкование шихты, содержащей тонкоизмельченные концентраты, добавки богатой железом отечественной полидисперсной аглоруды Яковлевского месторождения. Выявлено, что эта руда способна существенно улучшить окомкование концентратов и в 2 – 4 раза уменьшить газодинамическое сопротивление агломерационной шихты. Обеспечивается возможность существенно повысить производительность агломерационных машин, увеличить высоту спекаемого слоя, благодаря чему экономить технологическое топливо, улучшить прочность агломерата, поднять производительность доменных печей с экономией дорогостоящего кокса. Полученные результаты являются основанием для организации и проведения крупномасштабных промышленных испытаний.

Ключевые слова: аглоруда, железорудный концентрат, агломерация, скорость спекания, газодинамическое сопротивление, производительность, прочность агломерата, Яковлевский рудник.

The permeability of the sinter charge deteriorates with the increased quantity of iron-ore concentrates. Therefore sintering rate, performance of sintering machines, agglomerate strength and the techno-economic performance of the blast furnaces are reduced. For this reason to increase the permeability of the sinter charge used additives. But they have a negative impact on the agglomerate iron content. In this paper investigated the influence on the charge pelletizing of polydisperse sintering ore deposits "Yakovlevskoye", containing finely divided concentrates and additives with a high content of iron. It was found that this ore can significantly improve the pelletizing of concentrates and reduce the gas-dynamic impedance of sinter charge two – four times, increase the height of the sintered layer and the possibility to improve the performance of sintering machines, thereby reducing fuel consumption. Thus the saving of expensive coke is achieved due to the improvement of agglomerate strength and production of blast furnaces. The obtained results are the basis for the large-scale industrial testing organization.

Keywords: sintering ore; iron-ore concentrates; agglomeration; sintering rate; gas-dynamic impedance; performance; agglomerate strength; "Yakovlevsky" mine.

УДК 620.197:669.68

Сульфаминовый электролит лужения жести — от идеи до промышленного производства

В. П. Виноградов, **И. М. Кацер**, Г. С. Гуляева,
В. А. Парамонов, Т. П. Москвина, Р. Х. Илалова

ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П. Бардина”, г. Москва. E-mail: vinogradov-52@mail.ru

25 лет назад в рамках НИР отраслевого заказа № 10192 была фактически с чистого листа начата работа по созданию нового экологически чистого электролита лужения взамен действующей базовой технологии “ферростан”. Уже в 1993 г. состоялся перевод на новую технологию первой промышленной линии электролитического лужения на Карагандинском металлургическом комбинате. Процесс был внедрен на пяти линиях лужения в России и Казахстане. По новой технологии произведено около 6 млн. т жести. В статье описан процесс лабораторной проработки технологии, опытно-промышленного опробования, внедрения и освоения экологически чистой технологии лужения. Статья посвящается памяти первого руководителя разработки Иды Моисеевны Кацер.

Ключевые слова: электролитическое лужение, жесь, ферростан, сульфаминовый электролит, внедрение в производство, проксамин.

25 years ago scientific research within the scope of industry order No. 10192 involved commencement of development of new ecologically pure tin plating electrolyte instead of base ferrostan technology. In 1993 the first industrial tin plating line at Karaganda metallurgical plant was transferred to the new technology. The process has been implemented on 5 tin plating lines in Russia and Kazakhstan. About 10 million tons of tin were produced with the new technology. The article describes the process of laboratory development of technology, industrial testing, implementation and mastering of ecologically pure tin plating technology. The article is dedicated to the memory of Ida Moiseevna Katzer, first head of development.

Keywords: electrolytic tin plating, tin, ferrostan, sulfamate bath, production implementation, proxamin.

УДК 62-551.454

Управление динамикой нагрева стали в двухзонной электрической печи сопротивления с детерминированным регулятором температуры

Ю. Е. Воронцов

Уральский федеральный университет, Институт радиоэлектроники и информационных технологий, кафедра Автоматики, г. Екатеринбург. E-mail: vorjohn@inbox.ru

Разработана модель адаптивной системы регулирования температуры двухзонной электрической печи сопротивления с детерминированным адаптивным регулятором в программной среде Matlab. С помощью данной модели получены графики переходных процессов нагрева стали 17X18H9.

Ключевые слова: адаптация, настройки, регулятор, адаптивная система.

Model of an adaptive system for control temperature in dual-zone electric resistance furnace with determined adaptive controller was developed by means of Matlab software. Using this model Characteristics of transient processes of steel 17X18H9 heating were obtained.

Keywords: adaptation, tuning rules, regulator, adaptive system.

УДК 669.539.382:669.17

Формирование структурно-фазовых градиентов в рельсах при длительной эксплуатации

**Ю. Ф. Иванов^{1,2}, К. В. Морозов³, О. А. Перегудов³,
В. Е. Громов³, Н. А. Попова⁴, Е. Л. Никоненко⁴**

¹Институт сильноточной электроники СО РАН, 634055, Томск, пр. Академический, 2/3,
e-mail: yufi55@mail.ru

²Национальный исследовательский Томский государственный университет,
634050, Томск, пр. Ленина, 36

³Сибирский государственный индустриальный университет, 654007, Новокузнецк,
ул. Кирова, 42, e-mail: gromov@physics.sibsiu.ru

⁴Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, Томск, пл. Соляная, 2

Приведены результаты анализа эволюции структуры и фазового состава поверхностного слоя рельсов Р65 в исходном состоянии и после эксплуатации. Показано, что эксплуатация рельсов сопровождается изменением структурно-фазового состояния материала на глубину не менее 2 мм. Определены элементы структуры, способные являться концентраторами напряжения.

Ключевые слова: рельсы Р65, эксплуатация, градиент, эволюция структуры и фазового состава.

The analysis results of the structure and phase composition of P65 rails surface layer in initial state and after operation are presented. It is shown that rails operation is accompanied by the material structure phase states change at the more than 2 mm depth. The structure elements capable to be the stress concentrators are revealed.

Keywords: P65 rails, operation, gradient, evolution of structure and phase composition.

УДК 669.15-194

Влияние редкоземельных элементов на комплекс механических свойств и коррозионную стойкость низкоуглеродистой азотосодержащей нержавеющей стали

**Е. А. Браницкая, В. В. Гук, Ю. А. Пак, Г. А. Филиппов,
А. П. Шлямнев**

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

В данной работе проведен сравнительный анализ комплекса механических и антикоррозионных свойств новой нержавеющей стали применительно к дальнейшему совершенствованию и удешевлению производства из нее металлопроката различного сортамента. Исследована нержавеющая коррозионностойкая азотосодержащая сталь 03X17H9AM3, микролегированная редкоземельными элементами.

Ключевые слова: нержавеющая сталь, коррозионная стойкость, механические свойства, легирование азотом, агрессивная среда, межкристаллитная коррозия, структура стали

In this study the comparative analysis of a complex of mechanical and anticorrosion properties of new stainless steel in relation to further improvement and reduction in cost of production of metal rolling of various range from it is carried out. The stainless nitrogen-containing steel 03X17H9AM3 microalloyed by rare-earth elements is investigated.

Keywords: stainless steel, corrosion resistance, mechanical properties, alloying with nitrogen, aggressive medium, intercrystalline corrosion, microstructure of steel

УДК 541.11

Исследование быстрозакаленных сплавов $Zr_{67}Ni_{30}Si_3$ и $Zr_{64}Ni_{30}Si_6$

Н. А. Арутюнян^{1,2}, А. И. Зайцев^{1,2}, С. Ф. Дунаев¹,
К. Б. Калмыков¹, Ф. С. Моисеев¹, Н. Л. Федотова²

¹ Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва. E-mail: naarutyunyan@gmail.com

² ФГУП "ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина", г. Москва. E-mail: aizaitsev1@yandex.ru

Выполнено исследование быстрозакаленных сплавов $Zr_{67}Ni_{30}Si_3$ и $Zr_{64}Ni_{30}Si_6$. Определены температура и энтальпия перехода из аморфного состояния в кристаллическое, измерена твердость. Обобщены имеющиеся сведения о влиянии малых добавок кремния на стеклообразующую способность сплавов на основе циркония.

Ключевые слова: аморфные металлические сплавы, аморфные сплавы Zr – Ni – Si, малые добавки, аморфизация, температура начала кристаллизации

Rapidly quenched $Zr_{67}Ni_{30}Si_3$ and $Zr_{64}Ni_{30}Si_6$ alloys were studied. Temperature and enthalpy of transition from amorphous to crystalline state were determined, the hardness was measured. The available information on the effect of small additions of silicon on glass-forming ability of zirconium-based alloys is summarized.

Keywords: Amorphous metallic alloys, amorphous Zr – Ni – Si alloys, small additions, amorphization, crystallization temperature

УДК 669.112.227:539.4.015

Эволюция карбидной и дефектной подсистем стали с бейнитной структурой при деформации

В. Е. Громов¹, Е. Н. Никитина¹, Ю. Ф. Иванов^{2,3}

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 Научно-исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск,

Методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии выполнен количественный анализ эволюции дефектной и карбидной подсистем стали с бейнитной структурой при деформации сжатием до 36 %. Определены зависимости от степени деформации продольных и поперечных размеров частиц цементита в объеме кристаллов бейнита, объемной доли частиц цементита и остаточного аустенита, скалярной плотности дислокаций, объема материала с микровдвойниками, размеров фрагментов, количества концентраторов напряжений и ширины контуров экстинкции. Выполнена оценка дальнедействующих полей напряжений. Обсуждены возможные причины стадийности изменения параметров карбидной фазы и дислокационной субструктуры с деформацией.

Ключевые слова: сталь, бейнитная структура, деформация, цементит, дислокационная субструктура, эволюция, поля напряжений.

The quantitative analysis of carbide and defect steel subsystem with bainite structure under compression deformation up to 36 % is carried out by methods of transmission electron diffraction microscopy. The dependences on deformation degree of longitudinal and transversal cementite particles sizes of bainite crystals, volume parts of cementite particles and residual austenite, scalar dislocation density, material volume with microtwins, fragment sizes, number of stress concentrators and contours extinction width are determined. The evaluation of far acting stress fields is carried out. The possible reasons of parameters change stages of carbide phase and dislocation substructure are discussed.

Keywords: steel, bainite structure, deformation, cementite, dislocation substructure, evolution, stress fields.

ВНИИМЕТМАШ на современном этапе развития

Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт металлургического машиностроения (ВНИИМЕТМАШ), который носит имя своего создателя — академика Александра Ивановича Целикова, в 2015 году отмечает семидесятилетие со времени своего основания.