

ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

СОДЕРЖАНИЕ

2 • 2019

Технологические процессы металлургии

- С. В. Сметанин, В. Н. Перетягко, В. В. Дорофеев, А. Б. Юрьев, М. В. Филиппова**
Разработка ресурсосберегающей технологии прокатки остроговальных рельсов на универсальном рельсобалочном стане5
- А. Е. Смирнов**
Оптимизация технологических факторов вакуумной нитроцементации комплексно-легированных сталей мартенситного класса13
- А.Ю. Малахов**
Каталитический эффект предварительно наносимой на поверхность плёнки оксида меди на процессы азотирования стали20
- Н. А. Заикин, Н. В. Шапля, Г. С. Подгородецкий, А. И. Гиммельфарб**
Исследование технологии получения легированного чугуна из окисленных никелевых руд Южного Урала в печи барботажного типа24
- Д. С. Иванов, Д. В. Нижельский, В. М. Чижов**
Освоение производства листового проката стали марки 09Г2С по технологии контролируемой прокатки с ускоренным последеформационным охлаждением30

Материаловедение и новые материалы

- А. В. Амежнов**
Особенности и механизмы коррозионного разрушения сталей в различных условиях эксплуатации нефтепромысловых трубопроводов34
- С. А. Луцкая, О. А. Базылева, Э. Г. Аргинбаева**
Влияние рения на структурно-фазовый состав сплавов на основе интерметаллида Ni_3Al 43
- О. А. Клецова, А. В. Щеголев, В. И. Грызунов, М. В. Иванюк, Н. В. Фирсова, С. Н. Сергиенко**
Исследование природы и закономерностей образования неметаллических включений и дефекта "плена" в изделиях из стали 11ЮА51
- И. Г. Родионова, Н. А. Карамышева, А. А. Павлов, А. С. Мельниченко, А. И. Шпак, А. В. Папшев, Д. А. Гребенщиков, С. А. Жовнер**
Исследование влияния химического состава и технологических параметров на свойства горячеоцинкованного проката (типа HSLA) после отжига в АНГЦ с использованием методов статистического анализа59
- А. А. Буржанов, М. П. Галкин, Г. А. Филиппов**
Особенности структурного состояния и разрушения трип-стали 23X15H5CM3Г под воздействием циклических напряжений73
- А. И. Зайцев, А. В. Колдаев, Н. А. Арутюнян, Б. М. Могутнов, С. Ф. Дунаев**
Новое поколение экономно легированных ферритных сталей с уникальным комплексом трудно сочетаемых свойств77
- А. Б. Коростелев, В. Г. Филиппов, И. П. Шабалов, О. Н. Чевская**
Замедленное хрупкое разрушение сверх низкоуглеродистых мартенситных сталей87

Экономика и организация производства

- А. Ю. Прокопенко, К. В. Притыкин, С. А. Денисов**
Влияние точности измерения толщины холоднокатаной полосы на экономический эффект от продажи партии93

Контроль металлургического производства и металлопродукции

- Е. Ю. Босикова, М. А. Полякова**
Сравнение точности методов определения состава ферросплавов с применением функционально-целевого анализа96

Информация

- Д. А. Левинский**
Государственному научному центру ЦНИИчермет им. И. П. Бардина исполнилось 75 лет 101

ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Главный редактор

канд. техн. наук В.А.Углов

Заместители главного редактора:

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

Редакционная коллегия:

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

Адрес редакции:

105005 Москва, ул. Радио, дом 23/9, стр. 2
ЦНИИчермет им. И.П. Бардина,
тел. 777 93 02, 777 95 13, факс 777 93 00,
E-mail: bmogutnov@mail.ru, NTPHM@yandex.ru, bmogutnov@mtu-net.ru

С требованиями к публикациям в журнале “ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ” и правилами оформления статей можно ознакомиться на сайте ЦНИИчермет им. И.П.Бардина — www.chermet.net

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

ISSN 1997-9258

Журнал зарегистрирован в агентстве “РОСПЕЧАТЬ” 23.01.2008 г.
Регистрационный индекс 58999.

© ЦНИИчермет им. И.П. Бардина 2019

PROBLEMS OF FERROUS METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE

CONTENTS

2 • 2019

<i>Production processes in metallurgy</i>	
S. V. Smetanin, V. N. Perepyat'ko, V. V. Dorofeeva, A. B. Yur'ev, M. V. Filippova Development of resource-saving rolling technology of tongue rails at a universal structural mill	5
A. E. Smirnov Optimization of vacuum carbonitriding technological factors for complex-alloyed steels of martensitic class	13
A. Yu. Malakhov The catalytic effect of a copper oxide film previously applied at the surface on the steel nitriding.....	20
N. A. Zaikin, N. V. Shablya, G. S. Podgorodetskiy, A. I. Gimmelfarb Investigation into the technology for nickel-alloyed iron production from Southern Urals oxidized nickel ores in the bubbling-type furnace	24
D. S. Ivanov, D. V. Nizhel'skiy, V. M. Chizhov Development of production of flat-rolled stocks from the grade 09Mn2Si steel using controlled rolling technology with accelerated post-deformation cooling	30
<i>Materials science and new materials</i>	
A. V. Amezhnov Features and mechanisms of corrosion destruction of steels in various operating conditions of oilfield pipelines	34
S. A. Lutskaya, O. A. Bazyleva, E. G. Arginbaeva The effect of rhenium on the structural-phase composition of alloys based on the Ni ₃ Al intermetallic compound	43
O. A. Kletsova, A. V. Shchegolev, V. I. Gryzunov, M. V. Ivanyuk, N. V. Firsova, S. N. Sergienko Investigation of the nature and regularities of forming non-metallic inclusions and blisters in products from the 0,11CAIN steel	51
I. G. Rodionova, N. A. Karamysheva, A. A. Pavlov, A. S. Mel'nichenko, A. I. Shpack, A. V. Papshev, D. A. Grebenshchikov, S. A. Zhovner Investigation on the influence of the chemical composition and technological parameters on the properties of hot-dip galvanized rolled products (HSLA type) after annealing in the CHDG unit using statistical analysis methods	59
A. A. Burzhanov, M. P. Galkin, G. A. Filippov Specific features of the structural state and fracture of the 23Cr15Ni5SiMo3Mn trip-steel under the action of cyclic stresses.....	73
A. I. Zaitsev, A. V. Koldaev, N. A. Arutyunyanv, B. M. Mogutnov, S. F. Dunaev A new generation of economically alloyed ferritic steels with a unique complex of difficult-to-combine properties	77
A. B. Korostelev, V. G. Filippov, I. P. Shabalov, O. N. Chevskaya Delayed brittle fracture of ultra-low-carbon martensitic steels.....	87
<i>Economy and organization of production</i>	
A. Yu. Prokopenko, K. V. Pritykin, S. A. Denisov The influence of the thickness measurement accuracy of a cold-rolled strip on the economic effect from cold-rolled strips batch selling	93
<i>Control of metallurgical manufacture and metal products</i>	
E. Yu. Bosikova, M. A. Polyakova Comparison of the accuracy of methods for determining the composition of ferroalloys using functional-targeted analysis	96
<i>Information</i>	
D. A. Levinskiy The state centre of science TsNIIChemet of I.P. Bardin — 75 anniversary.....	101

УДК 621.771.

Разработка ресурсосберегающей технологии прокатки остряковых рельсов на универсальном рельсобалочном стане

**С. В. Сметанин¹, В. Н. Перетяцько²,
В. В. Дорофеев¹, А. Б. Юрьев¹, М. В. Филиппова²**

¹ АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат», г. Новокузнецк. E-mail: Sergey.Smetanin@evraz.com.

² ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк.

В работе приведены результаты исследований по применению разработанного метода расчета геометрического очага деформации, способа прокатки в уравновешенном универсальном калибре и скоростных режимов прокатки в чистовой непрерывной реверсивной группе клетей. Это позволило разработать ресурсосберегающую технологию прокатки асимметричного рельсового профиля острякового рельса на универсальном рельсобалочном стане.

Ключевые слова: горячая прокатка; асимметричный профиль; остряковый рельс; универсальный рельсобалочный стан; технология прокатки.

The paper presents the results of studies on the application of the developed method for calculating the geometric deformation zone, the rolling method at a balanced universal groove and the speed modes of rolling at the finishing continuous reversing rolling mill group. This made it possible to develop a resource-saving rolling technology for the asymmetrical rail profile of tongue rails at an universal structural mill.

Keywords: hot rolling, asymmetrical profile, tongue rail, universal structural mill, rolling technology.

УДК 621.785.52

Оптимизация технологических факторов вакуумной нитроцементации комплексно-легированных сталей мартенситного класса

А. Е. Смирнов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва. E-mail: smirnoff@bmstu.ru

Определены управляющие факторы вакуумной нитроцементации, обеспечивающие оптимальные значения эксплуатационных свойств зубчатых колес газотурбинных двигателей из комплексно-легированных сталей мартенситного класса. Установлено приоритетное влияние на процесс циклического насыщения сталей в атмосферах низкого давления факторов времени, таких как общее время насыщения, а также суммарное время стадий активного насыщения (подачи углеводорода в камеру) и стадий диффузионного выравнивания (пассивных стадий), на которых углеводород в камеру не подается. Процесс насыщения разделен на две группы циклов. Во время первой группы циклов формируется большое количество зародышей карбидных и карбонитридных фаз. При выполнении второй группы циклов происходит увеличение размера и объемной доли частиц карбонитридной фазы в приповерхностной части диффузионного слоя.

Ключевые слова: вакуумная нитроцементация, циклические режимы, карбонитриды, управляющие факторы, эксплуатационные свойства.

Controlling factors of vacuum carbonitriding were determined. They provide optimal values of operational properties of turbofan engines gear wheels from complex-alloyed steels of the martensitic class. The priority influence of temporal factors was found on the process of cyclic saturation of the steels in low pressure atmospheres, such as total saturation time, as well as the total time of active saturation stages (hydrocarbon supply to the chamber) and diffusion equalizing stages (passive stages), in which the hydrocarbon is not supplied to the chamber. The saturation process is divided into two groups of cycles. During the first group of cycles a large number of nuclei of carbide and carbonitride phases are forming. During the second group of cycles the size and volume fraction of the carbonitride particles increase in the near-surface part of the diffusion layer.

Keywords: vacuum carbonitriding, cyclic modes, carbonitrides, controlling factors, performance properties.

УДК 621.785.532

Каталитический эффект предварительно наносимой на поверхность плёнки оксида меди на процессы азотирования стали

А. Ю. Малахов

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва. E-mail: malahov-alex@yandex.ru

Описывается процесс азотирования, который заключается в предварительном, непосредственно перед самим процессом азотирования, нанесении на поверхность стали тонкой медной плёнки и её окисления. Показано, что такая пленка приводит к каталитическому ускорению процесса азотирования по сравнению со стандартным азотированием. Толщина медной пленки, предварительно наносимой на поверхность образца стали перед азотированием, является фактором, регулирующим строение, фазовый состав и кинетику роста азотированного слоя.

Ключевые слова: азотирование, катализатор, гальваническое осаждение, азотированный модифицированный слой.

Nitriding process is described, which consists in a preliminary, immediately before the nitriding process, deposition on the surface of the steel a thin copper film and its oxidation. It is shown that such a film leads to a catalytic acceleration of the nitriding process as compared to the standard nitriding. The thickness of the copper film, previously applied to the surface of the steel sample before nitriding, is a factor regulating the structure, phase composition and growth kinetics of the nitrified layer.

Keywords: nitriding, catalyst, galvanic deposition, nitrified modified layer.

УДК 669.243

Исследование технологии получения легированного чугуна из окисленных никелевых руд Южного Урала в печи барботажного типа

**Н. А. Заикин, Н. В. Шабля, Г. С. Подгородецкий,
А. И. Гиммельфарб**

*НИТУ "МИСус", г. Москва. E-mail: zaikin@metprom.net, heptor@mail.ru,
natasha9131@mail.ru, podgs@misis.ru, gimmelfarb-ai@metprom.net.*

В настоящей статье представлена инновационная технология переработки окисленных никелевых руд с получением легированного чугуна. Приведены данные о конструкции печи для плавки руды и принципах ее работы. Описаны эксперименты, имитирующие условия процесса в печи, и проанализированы их результаты. Технология может рассматриваться как перспективная для внедрения на предприятиях, перерабатывающих окисленные никелевые руды.

Ключевые слова: Латеритовые руды, никелевые руды, барботажный процесс, удаление серы, удаление фосфора, легированный чугун, ресурсосбережение.

This article describes an innovative technology for processing of oxidized nickel ores to produce alloyed iron. The data on the design of the furnace for smelting ores and the principles of its operation are presented. Experiments that imitate the conditions of the process in the furnace are described and their results are analyzed. The technology can be considered as promising for introduction at enterprises processing oxidized nickel ores.

Keywords: Lateritic ores, nickel ores, bubbling process, desulphuration, dephosphorizing, alloyed iron, energy and resource saving.

УДК 621.771.09

Освоение производства листового проката стали марки 09Г2С по технологии контролируемой прокатки с ускоренным последеформационным охлаждением

Д. С. Иванов, Д. В. Нижельский, В. М. Чижов

*АО “Уральская Сталь”, г. Новотроицк Оренбургской обл.
E-mail: storm986@mail.ru, d.nizhelskiy@uralsteel.com.*

В статье рассмотрена возможность повышения производительности прокатного стана 2800 при выпуске толстолистового проката в толщинах до 50 мм из стали 09Г2С с помощью применения технологии контролируемой прокатки с ускоренным последеформационным охлаждением. Представлены фактические результаты по увеличению производительности стана и результаты механических испытаний проката, произведенного по новой технологии.

Ключевые слова: контролируемая прокатка; ускоренное охлаждение; нормализация; горячая прокатка, низколегированная сталь.

The article considers the possibility of improving the performance of the rolling mill 2800 in the course of production of the 09G2S steel plates in thicknesses up to 50 mm using the technology of controlled rolling with accelerated post-deformation cooling. The actual results of increasing the mill productivity and the results of the mechanical tests of rolled products produced by the new technology are presented

Keywords: controlled rolling, accelerated cooling, normalization, hot rolling, low-alloy steel.

УДК 620.193.

Особенности и механизмы коррозионного разрушения сталей в различных условиях эксплуатации нефтепромысловых трубопроводов

А. В. Амежнов

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

Представлен обзор основных механизмов коррозионного разрушения нефтепромысловых трубопроводов, эксплуатируемых в условиях транспортировки высокоминерализованных сред. Приведены особенности разрушения сталей нефтепромысловых трубопроводов в зависимости от механизмов развития коррозионных процессов. Показано, что наибольшую опасность представляют общая и локальная коррозии, протекающие при контакте с пластовой водой преимущественно по электрохимическому механизму.

Ключевые слова: коррозионная стойкость, механизмы коррозионного разрушения, нефтепромысловые трубопроводы, пластовая вода, общая коррозия, локальная коррозия, электрохимическая коррозия.

An overview of the main mechanisms of corrosion destruction of oilfield pipelines operating in the conditions of transportation of highly mineralized media is presented. The features of the destruction of steel oilfield pipelines depending on the mechanisms of the development of corrosion processes are given. It has been shown that the greatest danger is represented by general and local corrosion occurring mainly through the electrochemical mechanism upon contact with the formation water.

Keywords: corrosion resistance, corrosion destruction mechanisms, oilfield pipelines, formation water, general corrosion, local corrosion, electrochemical corrosion.

УДК 669.715.24

Влияние рения на структурно-фазовый состав сплавов на основе интерметаллида Ni_3Al

С. А. Луцкая*, О. А. Базылева, Э. Г. Аргинбаева

ФГУП “Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов”, г. Москва. E-mail: solutskaya@gmail.com

В статье представлен сравнительный анализ структурно-фазового состава сплавов на основе интерметаллида Ni_3Al с различным содержанием рения в литом и термически обработанном состояниях. Известной проблемой, проявляющейся при легировании тугоплавкими элементами, к которым относится рений, является междендритная ликвация в отливках. Представлены результаты количественного анализа ликвационной неоднородности рений содержащих сплавов; для сплава ВИН2 приведены данные о влиянии различных режимов термической обработки на коэффициенты ликвации.

Ключевые слова: интерметаллид, рений, ликвация, термическая обработка, алюминид никеля

The article presents a comparative analysis of the structural-phase composition of alloys based on the Ni_3Al intermetallic compound with various rhenium contents in the cast and heat-treated states. A known problem that occurs when alloying with refractory elements, which include rhenium, is interdendritic segregation in castings. The results of the quantitative analysis of segregation heterogeneity of rhenium-containing alloys are presented; for the VIN2 alloy data are adduced on the effect of various heat treatment regimes on segregation coefficients.

Keywords: intermetallic compound, rhenium, segregation, thermal treatment, nickel aluminide.

УДК 620.192.64/620.186

Исследование природы и закономерностей образования неметаллических включений и дефекта “плена” в изделиях из стали 11ЮА

**О. А. Клецова¹, А. В. Щеголев², В. И. Грызунов¹,
М. В. Иванюк², Н. В. Фирсова¹, С. Н. Сергиенко¹**

¹ *Орский гуманитарно-технологический институт (филиал ФГБОУ ВО ОГУ),
г. Орск, Оренбургская обл., пр. Мира, 15а.*

E-mail: mtm@ogti.orisk.ru, yakunchik56@mail.ru

² *АО “Механический завод”, г. Орск, Оренбургская обл., проспект Мира 4, Корпус 3А*

Проведена металлургическая экспертиза неметаллических включений, обнаруженных в районе дефекта и в образцах, вырезанных по сечению прокатного листа, с применением панорамных металлографических исследований дефектных областей металла и спектрального анализа. В статье детально рассмотрен дефект “плена”. Обоснованы суждения о природе возникновения неметаллических включений.

Ключевые слова: неметаллические включения, сталь, оксиды, плена.

A metallurgical examination has been carried out of non-metallic inclusions found in defect areas and in samples, cut over the cross-section of the rolled sheets, using panoramic metallographic studies of the metal defective areas and spectral analysis. The article details blister defects. Substantiated judgments are presented about the nature of non-metallic inclusions occurrence.

Keywords: non-metallic inclusions, steel, oxides, blister.

УДК 669.15-194.2:519.24:621.785.375

Исследование влияния химического состава и технологических параметров на свойства горячеоцинкованного проката (типа HSLA) после отжига в АНГЦ с использованием методов статистического анализа

**И. Г. Родионова¹, Н. А. Карамышева¹,
А. А. Павлов¹, А. С. Мельниченко², А. И. Шпак³,
А. В. Папшев³, Д. А. Гребенщиков³, С. А. Жовнер³**

¹ ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П. Бардина”, г. Москва. E-mail: igrodi@mail.ru, NKmet20@yandex.ru

² НИТУ “МиСИС”, г. Москва.

³ ПАО “Магнитогорский металлургический комбинат”, г. Магнитогорск Челябинской обл.

С использованием методов статистического анализа для оценки влияния химического состава и технологических параметров на свойства горячеоцинкованного проката из сталей HSLA после обработки в агрегате непрерывного горячего цинкования (АНГЦ) выявлены ключевые технологические параметры, оптимизацией которых можно повысить комплекс механических характеристик. Сформулированы гипотезы о механизмах влияния технологических параметров на процессы, происходящие на разных стадиях производства холоднокатаного проката, которые в дальнейшем целесообразно проверить экспериментальным путем. Показана возможность влияния на свойства не только традиционных механизмов упрочнения (измельчение зеренной структуры, твердорастворное упрочнение и дисперсионное твердение), но и процессов, происходящих на низкотемпературной стадии обработки в АНО-процессов старения или осаждения углерода на частицах карбида ниобия, в том числе наноразмерных.

Ключевые слова: высокопрочные стали, горячее цинкование, HSLA стали, химический состав, термическая обработка, технологические параметры, механические свойства, статистический анализ.

When using the methods of statistical analysis to assess the influence of the chemical composition and technological parameters on the properties of hot-dip galvanized rolled products from HSLA steels after processing in the continuous hot-dip galvanizing unit (CHDG unit), key technological parameters have been identified, optimizing of which allow improving the complex of mechanical characteristics. Hypotheses have been formulated for the mechanisms of influence of technological parameters on the processes occurring at different stages of the production of cold-rolled steel, which in the future it is advisable to verify experimentally. The possibility have been shown of influencing the steels properties of not only traditional hardening mechanisms (grinding grain structure, solid solution hardening and dispersion hardening), but also processes occurring at the low-temperature processing stage in the CAU (aging or deposition of carbon on niobium carbide particles including nanosized ones).

Keywords: high-strength steel, hot-dip galvanizing, HSLA steels, chemical composition, heat treatment, technological parameters, mechanical properties, statistical analysis.

УДК: 669.15 26:601:539.67

Особенности структурного состояния и разрушения трип-стали 23Х15Н5СМ3Г под воздействием циклических напряжений

А. А. Буржанов, М. П. Галкин, Г. А. Филиппов

ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г. Москва. E-mail: 1ab@bk.ru, iqs12@yandex.ru

Рентгеноструктурным методом исследовано влияние циклического воздействия напряжений при усталостных испытаниях на фазовый состав и структурное состояние трип-стали 23Х15Н5СМ3Г с исходной структурой — аустенит γ + мартенсит деформации α в холоднокатаной ленте толщиной 0,3 мм. Установлено возрастание плотности дислокаций в структуре под влиянием циклических напряжений. Определены особенности, присущие трип-стали: прирост количества мартенсита деформации в процессе усталостного нагружения до исчерпания количества исходного аустенита вследствие дополнительного $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения. Обнаружена релаксация среднего уровня внутренних микронапряжений и их локальной концентрации. Локальная концентрация микронапряжений уменьшается с увеличением количества мартенсита деформации вследствие дополнительного $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения в результате воздействия циклических нагрузок в упругой области. Предложен механизм усталостного разрушения трип-стали. Разрушение стали происходит при исчерпании возможности развития фазового превращения метастабильного аустенита в мартенсит деформации и релаксации микронапряжений путем микропластической деформации.

Ключевые слова: сталь, метастабильный аустенит, фазовое превращение, структурное состояние, многоцикловая усталость, усталостная долговечность, локальная концентрация микронапряжений.

X-ray-structural method has been used for investigating the effect of cyclic impact of stresses in course of fatigue tests on the phase composition and structural state of the 23Cr15Ni5SiMo3Mn trip-steel in a cold-rolled band 0.3 mm in thickness with the initial structure austenite γ + strain-induced martensite α . An increase in the density of dislocations in the structure under the influence of cyclic stresses has been established. The specific features inherent to the trip-steel were determined: an increment in the amount of strain-induced martensite in the process of cyclic loading up to the exhaustion of the quantity of initial austenite due to additional γ - α transition. Relaxation was observed of the medium level of internal stresses and of their local concentration. The local concentration of micro-stress decreases with an increase in the quantity of strain-induced martensite due to additional γ - α transformations caused by the effect of cyclic stresses in the elastic area. The mechanism of fatigue fracture of the trip-steel was presented. The steel fracture occurs because of the exhaustion of the possibilities for development of phase transformation of metastable austenite into strain-induced martensite and the relaxation of micro-stresses by means of micro-plastic straining.

Keywords: steel, metastable austenite, phase transformation, structural state, multi-cycle fatigue, cycle service life, local concentration of micro-stress.

УДК 669-419.4

Новое поколение экономно легированных ферритных сталей с уникальным комплексом трудно сочетаемых свойств

А. И. Зайцев^{1,2}, А. В. Колдаев¹, Н. А. Арутюнян^{1,2},
Б. М. Могутнов¹, С. Ф. Дунаев²

¹ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г. Москва. E-mail: aizaitsev1@yandex.ru,

² Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова. Россия, г. Москва.

По результатам анализа используемых механизмов формирования структуры и свойств существующих типов высокопрочных автолистовых сталей установлена сложность или даже невозможность одновременного получения высоких трудносочетаемых показателей прочности, пластичности, штампуемости, усталостной и коррозионной стойкости, других характеристик. Показано, что перспективным направлением достижения такого комплекса свойств является разработка новых сталей, упрочняемых за счет дисперсной ферритной структуры и объемной системы наноразмерных фазовых выделений. Для этого может быть использована система микролегирования титаном, в том числе совместно с Мо или более комплексная, включающая V, Nb, Ti, Mo. Однако выбор оптимального решения сдерживается отсутствием достоверных данных и адекватных представлений о кинетике формирования разных типов карбидных, карбонитридных выделений. На основе результатов исследования кинетики образования карбидных (карбонитридных) выделений V, Nb и Ti установлены закономерности реализации механизмов упрочнения, формирования структурного состояния и свойств ферритных сталей микролегированных V, Nb, а также Ti, в том числе совместно с Mo. Показаны преимущества системы микролегирования Ti, Mo для достижения уникального комплекса свойств стали.

Ключевые слова: экономнолегированные стали, ферритные стали, структура, наноразмерные выделения, прочность, пластичность, штампуемость, кинетика, механизмы упрочнения, горячая прокатка.

The results of analyzing the used mechanisms of forming the structure and properties of existing types of high-strength auto-sheet steels allowed to establish the complexity or even impossibility of obtaining simultaneously high difficult-to-combine indicators of strength, plasticity, deep drawing capability, fatigue and corrosion resistance and other characteristics. It has been shown that a promising direction for providing such a complex of properties consists in development of new steels, strengthened through dispersed ferritic structure and a bulk system of nanosized phase precipitates. To accomplish this, a system of microalloying with titanium can be used, including together with Mo or a more complex combination of microalloying with V, Nb, Ti, Mo. However, the choice of the optimal solution is hampered by the lack of reliable data and adequate ideas about the kinetics of forming different types of carbide (carbonitride) precipitates. Based on the results of studying the kinetics of V, Nb and Ti carbides (carbonitrides) precipitation, the regularities has been established of implementation of mechanisms of hardening, forming the structural state and properties for ferritic steels microalloyed with V, Nb, as well as with Ti, including together with Mo. The advantages of the Ti, Mo microalloying system have been shown for achieving a unique complex of the steel properties.

Keywords: economically alloyed steels, ferritic steels, structure, nanosized precipitates, strength, plasticity, deep drawing capability, kinetics, hardening mechanisms, hot rolling.

УДК 539.4:620.17:620.193

Замедленное хрупкое разрушение сверх низкоуглеродистых мартенситных сталей

**А. Б. Коростелев¹, В. Г. Филиппов¹,
И. П. Шабалов², О. Н. Чевская²**

¹ АО “НИКИЭТ им. Н.А. Доллежала”, г. Москва. E-mail: korostelev@nikiet.ru.

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

Исследованы механические свойства, параметры трещиностойкости и сопротивления замедленному разрушению сверхнизкоуглеродистых мартенситных сталей, закаливающихся на воздухе. Показано, что по уровню механических свойств и параметров трещиностойкости такие стали не уступают низколегированным сталям с феррито-перлитной и феррито-бейнитной структурами. Испытания с низкими скоростями деформации не выявили склонности таких сталей к замедленному хрупкому разрушению, что является следствием пониженного уровня остаточных локальных микронапряжений в закаленном сверхнизкоуглеродистом мартенсите.

Ключевые слова: замедленное разрушение, трещиностойкость, механические свойства, мартенсит.

Mechanical properties, parameters of cracking resistance and resistance to delayed fracture of ultra-low-carbon martensitic steels, hardenable in air, were investigated. It has been established that in the level of the mechanical properties and characteristics of cracking resistance this type steels are not inferior to low-alloy steels with ferritic-pearlitic and ferritic-bainitic structures. Tests with low deformation rates have not revealed the tendency of such steels to delayed brittle fracture, which is a consequence of the reduced level of residual local microstrains in the hardened ultra-low-carbon martensite.

Keywords: delayed fracture, cracking resistance, mechanical properties, martensite.

УДК: 621.771.23+681.786

Влияние точности измерения толщины холоднокатаной полосы на экономический эффект от продажи партии

А. Ю. Прокопенко, К. В. Притыкин, С. А. Денисов

*ООО “КОНВЕЛС Автоматизация”, г. Москва 117393, Профсоюзная ул., д. 58, корп. 4.
E-mail: alexei.prokopenko@konvels.com, kirill.pritykin@konvels.com,
sergei.denisov@konvels.com.*

Определение толщины холоднокатанной полосы — важная задача для повышения прибыли предприятия при продаже продукции по теоретической массе. При вычислении массы рулона через его объем погрешность по ширине проката невысока, но ошибка определения толщины обязывает увеличить запас полосы по длине для достижения требуемой массы рулона, снижая прибыль производства. Поэтому необходимо использовать точную систему измерения толщины. Различие в прибыли производителя металлопроката при использовании современных систем измерения толщины ИТ-3А-7К производства ООО “КОНВЕЛС Автоматизация” вместо зарубежных аналогов составляет более 800 руб/т. Полученные результаты показывают экономическую эффективность применения отечественных высокоточных измерительных систем при производстве плоского проката.

Ключевые слова: холодно-катаный прокат, производство, измерение толщины, точность измерения, теоретическая масса рулона, экономическая эффективность, снижение затрат.

Determining the thickness of the cold-rolled strip is an important problem for increasing the plant's profits when selling products by theoretical mass. When calculating the mass of the coil through its volume, the error determined from the rolled stock width is low, but the thickness error makes it necessary to increase the reserve of strip along the length in order to achieve the required mass of the coil. This reduces the production profits. Therefore, it is necessary to use an accurate thickness measurement system. The difference in the profits of the metal manufacturer while using current thickness measurement systems IT-3A-7K produced by the KONVELS Automation LLC instead of foreign analogs is more than 800 rubles/ton. The obtained results demonstrate the economic efficiency of the use of domestic high-precision measuring systems in the production of flat stock.

Keywords: cold-rolled strip, production, thickness measurement, measurement accuracy, coil theoretical mass, economical efficiency, reduction of costs.

УДК.669.168 : 543.4

Сравнение точности методов определения состава ферросплавов с применением функционально-целевого анализа

Е. Ю. Босикова, М. А. Полякова

ФГБОУ ВО “Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова”, г. Магнитогорск. E-mail: bossikova.elena@yandex.ru, m.polyakova@magtu.ru

Рассмотрена проблема повышения точности методов анализа химического состава ферросплавов. Для определения содержания отдельных компонентов ферросплавов применяются различные методы, отличающиеся по точности и экспрессности. Для определения связи функций и свойств метода анализа предлагается использование функционально-целевого анализа. Приведены результаты сравнительного анализа точности рентгенофлуоресцентного и титриметрического методов при определении содержания титана в ферротитане. Установлено, что при увеличении времени размола пробы точность определения титана рентгенофлуоресцентным методом совпадает с точностью химического анализа.

Ключевые слова: аналитический контроль, функционально-целевой анализ, точность анализа, рентгенофлуоресцентный анализ, ферротитан.

The problem of improving the accuracy of methods for analyzing the chemical composition of ferroalloys is considered. Various methods of analysis differing in accuracy and expressness are used for determining the content of individual components in ferroalloys. To determine the relationship between the functions and properties of an analytic method, it is proposed to use functional-targeted analysis. The results of a comparative analysis of the accuracy of X-ray fluorescence and titrimetric methods in determining the content of titanium in ferrotitanium are presented. It is established that with increasing the time of samples grinding the accuracy of titanium determination by the X-ray fluorescence method coincides with the chemical analysis accuracy.

Keywords: analytical control, functional-targeted analysis, accuracy of analysis, X-ray fluorescence analysis, ferrotitanium.

Государственному научному центру ЦНИИчермет им. И. П. Бардина исполнилось 75 лет

Д. А. Левинский

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

27 апреля 2019 г. единственному в России комплексному отраслевому центру металлургической науки Центральному научно-исследовательскому институту черной металлургии им. И.П. Бардина исполнилось 75 лет со дня основания. Чтобы поздравить коллектив института со знаменательной датой в Москве собрались многочисленные гости из разных регионов России, а также из стран ближнего и дальнего зарубежья.

Поздравление ЦНИИчермет им И.П. Бардина от имени министра промышленности и торгов-

ли Российской Федерации Д.В. Мантурова зачитал статс-секретарь – заместитель министра В.Л. Евтухов (рис. 1):

— Уважаемые друзья! От имени Министерства промышленности и торговли Российской Федерации и себя лично поздравляю Вас со знаменательной датой — 75-летием со дня основания Центрального научно-исследовательского института черной металлургии им. И.П. Бардина. Институт является комплексным научным кластером, объединяющим металлургов-практиков, металловедов,



Рис. 1. Статс-секретарь — заместитель Министра промышленности и торговли Российской Федерации В.Л. Евтухов.

химиков, конструкторов, метрологов и экономистов. Создание ЦНИИчермет в 1944 г. предопределило общее индустриальное развитие страны. Институтом внесен огромный вклад в развитие отечественной металлургии и укрепление обороноспособности нашего государства. Внедрены новые технологии производства специальных марок сталей, решены проблемы применения кислорода в металлургии. Все это привело к коренным преобразованиям в технике и технологии доменного и сталеплавильного производств. Институт широко известен как разработчик концепции и технологии непрерывной разливки стали.

За годы работы в институте было разработано и внедрено более 500 марок сталей и сплавов. При непосредственном участии работников института и научных сотрудников были созданы многие металлургические предприятия и организации в нашей стране и за рубежом.

В настоящее время коллектив института выполняет современные актуальные задачи – совершенствование технологии производства порошковых и прецизионных материалов и изделий из них, создание принципиально новых металлических материалов с заданными свойствами, взаимодействие с металлургическими предприятиями с целью расширения ассортимента продукции и улучшения ее потребительских характеристик, снижение производственных издержек.

Желаю всему коллективу института крепкого здоровья, хорошего настроения и дальнейших про-

фессиональных успехов в достижении поставленных целей на благо России!

Затем В.Л. Евтухов в своем кратком выступлении рассказал об особенностях развития отечественной металлургии в условиях различных ограничительных мер и санкционного давления на Россию. Он отметил, что российская металлургия сегодня находится на подъеме, но ее динамичное движение вперед было бы осложнено без тех разработок, которые в интересах металлургической отрасли делает ЦНИИчермет им. И.П. Бардина. В.Л. Евтухов торжественно вручил генеральному директору ЦНИИчермет им. И.П. Бардина В.В. Семенову благодарность Президента Российской Федерации. Она была объявлена коллективу института распоряжением Президента Российской Федерации от 5 апреля 2019 г. № 93-рп за большой вклад в развитие металлургической промышленности. Кроме того, В.Л. Евтухов поздравил всех сотрудников института с праздником и наградил почетными грамотами Минпромторга России ряд ученых.

Об основных вехах становления и развития ЦНИИчермет им. И.П. Бардина, его современных научных разработках и достижениях доложил собравшимся генеральный директор В.В. Семенов (рис. 2). Многие изобретения и открытия института определили облик современной металлургии. Среди них – применение кислорода в доменном и мартеновском производствах, создание кислородно-конвертерного процесса, высокоэффективные процессы внепечного рафинирования стали,



Рис. 2. Генеральный директор ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И. П. Бардина» В.В. Семенов.

метод непрерывной разливки стали. По словам В.В. Семенова, в настоящее время ЦНИИчермет реализует комплексный подход в решении приоритетных научно-технических и технологических задач, стоящих перед металлургами, и создает инновационное металлургическое пространство, позволяющее отечественным предприятиям успешно конкурировать с ведущими мировыми металлургическими компаниями.

Юбилейный год институт встречает с хорошими, в том числе и финансовыми, показателями. За последние несколько лет институтом в полном объеме выполнялись все показатели Программы деятельности, утверждаемой Минпромторгом России. Валовой доход, например, в прошлом году по сравнению с предыдущим годом вырос более чем на 60 %. На ближайшую перспективу планируется его увеличивать на 25 – 30 % ежегодно. Зарплата работников института выросла на 60 %.

В продолжение торжественного мероприятия коллектив ЦНИИчермет им. И.П. Бардина поздравили с юбилейной датой депутаты Государственной Думы, представители Правительства Российской Федерации, федеральных органов исполнительной власти, Российской академии наук, профильных научных центров, Российского союза промышленников и предпринимателей, Союза машиностроителей России, Объединения производителей железнодорожной техники, различных общественных организаций, крупных металлургических предприятий (Новолипецкого металлургического комбината, Объединенной металлургической компании, металлургического завода Электросталь, а также других компаний и учреждений).

К поздравлениям в адрес коллектива ЦНИИчермет присоединилась делегация из ФРГ под руководством госсекретаря Министерства экономики, труда и здравоохранения федеральной земли Мекленбург–Передняя Померания доктора Штефана Рудольфа. Он подчеркнул, что ЦНИИчермет знают далеко за пределами России благодаря передовым технологиям в области металлургии. Работать с институтом престижно и перспективно.

В прошлом году в Германии “на полях” бизнес-форума “Россия в Мекленбурге” генеральным директором ЦНИИчермет им. И.П. Бардина В.В. Семеновым было подписано два документа — коммюнике о сотрудничестве с Институтом Фраунгофера и меморандум с Институтом технологии имплантатов и биоматериалов. Партнеры из ФРГ выразили уверенность в успешном осуществлении ряда совместных инновационных проектов.

Штефан Рудольф поздравил коллектив института, а также вручил В.В. Семенову почетную грамоту правительства федеральной земли Мекленбург–Передняя Померания. Генеральный директор ЦНИИчермет им. И. П. Бардина удостоен почетного звания “Добропорядочный предприниматель”.

Во второй части торжественного вечера с поздравительным словом к коллективу института обратился заместитель министра промышленности и торговли России Г.В. Каламанов. С юбилейной датой руководство и коллектив института поздравили почетные гости. Среди них доктор технических наук и председатель Совета директоров Новолипецкого металлургического комбината В.С. Лисин и генеральный директор Трубной металлургической компании А.Г. Ширяев.

Дружеские слова поздравления прозвучали в адрес коллектива ЦНИИчермет им. И.П. Бардина от президента Российского союза поставщиков металлопродукции и шеф-редактора журнала “Металлоснабжение и сбыт” А.Г. Романова. Он вручил В.В. Семенову памятную бронзовую статуэтку и один из первых номеров журнала “Металлоснабжение и сбыт” за 1996 г. с материалом о ЦНИИчермет им. И. П. Бардина.

После официальных поздравлений генеральный директор В.В. Семенов поблагодарил всех гостей за участие в торжественном мероприятии и выразил уверенность в дальнейшем эффективном и плодотворном сотрудничестве ЦНИИчермет им. И.П. Бардина с его деловыми партнерами и коллегами.

Историческая справка

Датой зарождения института считается осень 1935 г. В Московском механико-машиностроительном институте им. Н. Э. Баумана (МММИ им. Н. Э. Баумана) при кафедре прокатки собрали лабораторную установку для экспериментов по бесслитковой прокатке. Руководил лабораторией В.Н. Воскресенский. Ее исследовательские возможности оказались достаточно ограничены. Тогда группа сотрудников МММИ и завода “Серп и Молот” выдвинула предложение о строительстве Научно-исследовательской лаборатории прокатки и прокатного машиностроения (НИЛППМ). Инициативу поддержал Наркомат тяжелой промышленности. В сжатые сроки был выделен земельный участок. Закладка здания состоялась 27 сентября 1935 г. Об этом событии написала газета “Правда”.

Строительством руководил инженер и аспирант МММИ В.Н. Воскресенский. Активное

участие в работе над проектом здания и оборудования приняли профессор Г.А. Осещимский, доценты А.И. Целиков и Н.П. Куницкий, инженеры В.В. Маркелов, И.И. Поляк, В.Г. Гросвальд, А.Е. Гуревич, А.А. Королев, Е.С. Рокотян и другие. В 1936 г. по приглашению В.Н. Воскресенского здесь побывал академик И.П. Бардин. Его ознакомили с проектом и стройплощадкой, продемонстрировали образцы стальной полосы, впервые полученные бесслитковым способом. Опытный металлург по достоинству оценил достигнутые результаты.

В 1937 г. МММИ передали в Наркомат оборонной промышленности. Кафедру прокатки в 1938 г. перевели в Московский институт стали. Практически лаборатория прокатки оказалась бесхозной. Встал вопрос о ее ликвидации. Но к этому времени уже возвели машинный зал и заказали комплекс экспериментального прокатного оборудования. И.П. Бардин, тогда уже главный инженер Главного управления металлургической промышленности Наркомтяжпрома СССР, поддержал ходатайство о передаче строительства НИЛППМ в систему черной металлургии. В августе 1938 г. лабораторию включили в перечень действующих предприятий черной металлургии. Это управленческое решение позволило значительно увеличить темпы строительства и приступить к научно-исследовательской работе.

6 июля 1939 г. в Москве основали Научно-исследовательский институт качественных сталей и ферросплавов, который возглавил А.С. Болеух. В июле 1941 г. этот НИИ объединили с лабораторией прокатки и прокатного машиностроения. Таким образом, будущий ЦНИИчермет начал свою деятельность в зданиях, построенных при непосредственной поддержке И.П. Бардина для НИЛППМ.

27 апреля 1944 г. на заседании ГКО было принято решение об организации Центрального научно-исследовательского института черной металлургии. Его создали на базе Научно-исследовательского института качественных сталей и ферросплавов и Днепропетровского физико-технического института. Первым руководителем ЦНИИчермет стал академик И.П. Бардин. Институт создавался как научный центр черной металлургии страны, призванный решать важнейшие проблемы производства и качества черных металлов. В составе ЦНИИчермет были созданы следующие структурные подразделения: Институт стали (директор В.Г. Воскобойников; главный инженер М.В. Приданцев), Институт ферроспла-

вов (директор И.Ф. Красных; главный инженер И.Д. Кириченко), Институт металловедения и физики металлов (директор Г.В. Курдюмов; главный инженер Р.И. Энтин), Институт металлургических проблем (директор М.С. Бойченко; главный инженер Н.Н. Тимошенко), а также ряд лабораторий, отделов, экспериментальный цех, конструкторское бюро, механическая мастерская и другие.

В конце 1970-х — начале 1980-х годов ЦНИИчермет превратился в крупнейший головной отраслевой научно-исследовательский институт. В нем работало около 5 тыс. сотрудников, существовали филиалы на крупнейших металлургических заводах и комбинатах. Институтом было разработано свыше 500 новых марок сталей и сплавов, порядка 300 марок прецизионных сплавов, а также организовано их производство на отечественных заводах.

Мировое признание получили фундаментальные исследования ученых ЦНИИчермет, зарегистрированные в Государственном комитете Совета Министров СССР по делам открытий и изобретений в качестве научных открытий:

№ 190 — Явление обратимых изменений кристаллической структуры твердых растворов внедрения. Авторы В.К. Крицкая, В.А. Ильина, А.В. Нархов (зарегистрировано в 1977 г.);

№ 239 — Явление термоупругого равновесия фаз при фазовых превращениях мартенситного типа — эффект Курдюмова. Авторы Г.В. Курдюмов, Л.Г.Хандрос (зарегистрировано в 1981 г.);

№ 319 — Явление прекращения фазового превращения в критической точке типа жидкость — пар при изменении температуры и давления в твердых телах. Авторы П.Л. Аптекарь, А.Р. Кутсар, Е.Г. Понятовский (зарегистрировано в 1987 г.).

Более 175 сотрудников института в различные годы награждены Государственными премиями: Сталинской, Ленинской, Совета Министров СССР и Правительства Российской Федерации. ЦНИИчермет является правообладателем 74 патентов на изобретение, более 3500 ТУ. Подготовка кадров высшей квалификации осуществляется в аспирантуре и докторантуре, есть два диссертационных совета.

В институте работает немало квалифицированных кадров — академик РАН, 9 профессоров, 93 доктора и кандидата наук, почти 90 молодых специалистов. ЦНИИчермет сотрудничает со многими отечественными металлургическими и машиностроительными предприятиями, а также с зарубежными партнерами.