

ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

СОДЕРЖАНИЕ

2 • 2014

<i>Теоретические основы металлургии</i>	
А. Н. Никулин, Г. А. Филиппов, М. Е. Гетманова, Н. О. Ливанова, Д. С. Илюхин Анализ напряженного состояния металла при осадке заготовки	5
М. Ю. Семенов Проектирование технологий поверхностного упрочнения высоконагруженных зубчатых колес на основе расчетного метода	16
<i>Технологические процессы металлургии</i>	
С. В. Фейлер, Е. В. Полевой, В. П. Дементьев Исследование ликвационных процессов при непрерывной разливке рельсовой стали	23
Е. А. Голи-Оглу Рациональная технология прокатки низкоуглеродистой конструкционной стали 14Г для конструкций общего назначения	26
А. В. Букин, А. Н. Серегин Разработка технологии выплавки ферросиликоалюминия из некондиционных бокситов и глиноземистых отходов металлургии и электроэнергетики	31
Д. В. Богачев, Е. В. Ершов, И. А. Варфоломеев Разработка интеллектуальной модели прогнозирования выходной температуры проката на установке контролируемого охлаждения	37
А. И. Зайцев, И. Г. Родионова, С. В. Никонов, А. Д. Хорошилов Влияние технологических параметров прокатного передела и изготовления труб на отсортировку металлопродукции по дефектам поверхности и результатам ультразвукового контроля	43
Ю. А. Пак, Г. А. Филиппов, М. В. Глухих, А. С. Тюфтяев, Б. А. Сарычев Исследование и разработка температурных режимов непрерывной разливки при плазменном подогреве стали в промежуточном ковше МНЛЗ	54
<i>Переработка техногенного сырья</i>	
П. Е. Стулов, А. Н. Серегин Переработка отходов производства металлического ниобия с получением феррониобия	59
<i>Материаловедение и новые материалы</i>	
О. Н. Приписнов, Е. В. Шелехов, С. И. Рупасов, А. С. Медведев Фазовые превращения в смеси Cr – C при механоактивации и отжиге	63
А. Н. Романов, А. Г. Державин, К. И. Шутько, М. В. Бортников, А. Б. Коростелев Высокотемпературная термическая обработка как метод предотвращения межкристаллитного коррозионного растрескивания под напряжением сварных соединений из аустенитных сталей	67
Г. С. Белоусов, А. В. Омельченко, Г. А. Филиппов, М. Е. Гетманова, А. В. Белоусов Структура и свойства сталей и сплавов со сверхравновесными концентрациями азота, получаемых методом газотермобарического легирования в молекулярном азоте	73
И. Г. Родионова, Д. Н. Захарова, Н. Г. Шапошников, П. А. Мишнев, С. А. Мишнева, Р. Р. Адигамов, А. В. Митрофанов, А. Г. Петрова, А. С. Мельниченко, И. П. Чистяков Исследование выделений субмикронных частиц избыточных фаз и содержания углерода в феррите горячекатаного подката микролегированной титаном IF-стали	79
<i>Порошковая металлургия</i>	
И. О. Ершова, О. Б. Федотенкова Свойства немагнитных тяжелых сплавов на основе вольфрама	86
<i>Экономика и организация производства</i>	
А. В. Кожевников, О. И. Соловьева Методика оптимизации планирования ремонтных работ МНЛЗ на основе нечеткого прогнозирования фактического состояния оборудования	94
<i>Контроль металлургического производства и металлопродукции</i>	
К. Н. Анисимов, А. В. Куклев, И. В. Лебедев, А. М. Топтыгин Оценка эффективности работы ШОС на основе современных систем контроля непрерывной разливки стали	101
<i>Информация</i>	
И. Ф. Серёгина, А. И. Волков Семинар "Методы определения элементов в различных степенях окисления в сложных природных и техногенных объектах"	106
А. В. Амежнов V Научно-техническая конференция молодых специалистов "Перспективы развития металлургических технологий"	109

PROBLEMS OF FERROUS METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE

CONTENT

2 • 2014

<i>Fundamentals of metallurgy</i>	
A. N. Nikulin, G. A. Filippov, M. E. Getmanova, N. O. Livanova, D. S. Ilyukhin Analysis of the metal stressed state in the course of billets thinning	5
M. Yu. Semenov Designing technologies of surface hardening of heavily-loaded gears based on computational technique	16
<i>Production processes in metallurgy</i>	
S. V. Feyler, E. V. Polevoy, V. P. Dement'ev Investigation of segregation processes in the course continuous casting of rail steel	23
E. A. Goli-Oglu Rational rolling technology of low-carbon manganese structural steel for ordinary function constructions	26
A. V. Bukin, A. N. Seregin Development of technology for smelting ferrosilicoaluminium from sub-standart bauxite and aluminous waste of metallurgy and electrical power energetics	31
D. V. Bogachev, E. V. Ershov, I. A. Varfolomeev The elaboration of an intelligent model for prediction of outlet temperature of the rolled steel at the controlled cooling machine	37
A. I. Zaitsev, I. G. Rodionova, S. V. Nikonov, A. D. Khoroshilov The influence of technological parameters of rolling and pipes production on rejection of metal products by surface defects and results of ultrasonic control	43
Yu. A. Pak, G. A. Filippov, M. V. Glukhikh, A. S. Tyuftyaev, B. A. Sarychev Research and development of continuous casting temperature regimes during plasma heating of steel in the intermediate ladle of a continuous casting plant	54
<i>Recycling of technogenic raw materials</i>	
P. E. Stulov, A. N. Seregin Processing of waste of metallic niobium production into ferroniobium	59
<i>Materials science and new materials</i>	
O. N. Pripisnov, E. V. Shelekhov, S. I. Rupasov, A. S. Medvedev Phase transformations in the Cr-C mixture during mechanical activation and annealing	63
A. N. Romanov, A. G. Derzhavin, K. I. Shutko, M. V. Bortnikov, A. B. Kopostelev High-temperature heat treatment as a method for prevention of intercrystalline stress corrosion cracking of welded joints of austenitic steels	67
G. S. Belousov, A. V. Omel'chenko, G. A. Filippov, M. E. Getmanova, A. V. Belousov Structure and properties of steels and alloys with superequilibrium concentrations of nitrogen obtained by gas-thermobaric alloying in molecular nitrogen	73
I. G. Rodionova, D. N. Zakharova, N. G. Shaposhnikov, P. A. Mishnev, S. A. Mishneva, R. R. Adigamov, A. V. Mitrofanov, A. G. Petrova, A. S. Melnichenko, I. P. Chistyakov Study of submicron precipitates of excess phases and carbon content in ferrite of a hot-rolled IF-steel microalloyed by titanium	79
<i>Powder metallurgy</i>	
I. O. Ershova, O. B. Fedotenkova Properties of nonmagnetic heavy alloys on tungsten basis	86
<i>Economy and organization of production</i>	
A. V. Kozhevnikov, O. I. Solov'eva Method of optimizing scheduled repair of continuous casting machines based on fuzzy prediction of the equipment actual state	94
<i>Control of metallurgical manufacture and metal products</i>	
K. N. Anisimov, A. V. Kuklev, I. V. Lebedev, A. M. Toptygin Assessment of the efficiency of slag-forming mixtures on the basis of modern systems for controlling steel continuous casting	101
<i>Information</i>	
I. F. Seregina, A. I. Volkov Seminar "Methods for determination of elements in various oxidation level in complex natural and technogenic objects"	106
A. V. Amezhnov 5-th Scientific-technical conference of young specialists "Prospects of development of metallurgical technologies"	109

УДК 621.771:539.214.

Анализ напряженного состояния металла при осадке заготовки

**А. Н. Никулин, Г. А. Филиппов, М. Е. Гетманова,
Н. О. Ливанова, Д. С. Илюхин**

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

С использованием поля скоростей осуществлено аналитическое исследование напряженного состояния металла при осадке. Установлена зависимость развития растягивающих напряжений в осевой зоне заготовок от масштабного фактора χ . При осадке заготовок с $\chi \leq 1,0$ величина растягивающих напряжений не превышает предела текучести металла. Если $\chi > 1,0$, то величина растягивающих напряжений превышает предел текучести и возникают условия для развития дефектов сплошности металла. Осуществлена качественная оценка влияния краевого эффекта и осцилляции заготовки на развитие дефектов сплошности.

Ключевые слова: деформация, напряжения, структурно-деформационные элементы, макроструктура, масштабный фактор, поле скоростей, краевой эффект, осцилляция, разрушение металла, дефекты.

The metal stressed state, formed in the course of billets thinning, has been analyzed on the basis of the velocity field. The development of tensile stresses in the billets axial zone was found to depend on the scale factor χ . When billets are thinned on the condition that $\chi \leq 0$, the values of tensile stresses do not exceed the metal yield stress. If $\chi > 0$, the tensile stresses exceed the metal yield stress and conditions arise for development of defects in metal continuity. A qualitative assessment was carried out of influencing edge effect and the billets oscillations on development of continuity defects.

Keywords: deformation, stresses, structural deformation elements, macrostructure, scale factor, velocity field, edge effect, oscillation, metal fracture, defects.

УДК621.785.5

Проектирование технологий поверхностного упрочнения высоконагруженных зубчатых колес на основе расчетного метода

М. Ю. Семенов

ФГУП “ЦНИИЧермет им. И.П.Бардина”, г. Москва. E-mail: szigona.podzogin@gmail.com

Разработана методика проектирования технологических режимов химико-термической обработки на основе применения расчетных методов. Она включает в себя оценку применимости способов химико-термической обработки по критериям обеспечения требуемого уровня контактной выносливости, сопротивления усталости при изгибе, а также схватывания. Оптимальный выбор режимов осуществляется на основе решения диффузионной задачи. Методика реализована в прикладном программном средстве.

Ключевые слова: химико-термическая обработка, математическое моделирование, технологические режимы.

A computational technique has been developed for designing regimes of thermo-chemical treatment. It includes assessment of thermo-chemical processing applicability for achieving the required level of contact durability, bending fatigue and seizing resistance. Optimal choice of technological regimes was performed by the solution of diffusion problems. The technique was realized in software application.

Keywords: thermo-chemical treatment, mathematical modeling, technological regimes.

УДК 621.746.5:669.14.018.294.

Исследование ликвационных процессов при непрерывной разливке рельсовой стали

С. В. Фейлер¹, Е. В. Полевой², В. П. Дементьев¹

¹ ФГБОУ ВПО "Сибирский государственный индустриальный университет", г. Новокузнецк.
E-mail: feyler@rdtc.ru.

² ОАО "ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский Металлургический Комбинат",
г. Новокузнецк.

В статье приведены результаты сравнительного анализа развития ликвационных процессов по сечению непрерывнолитой заготовки, полученной на МНЛЗ, оборудованной системами электромагнитного перемешивания металла в кристаллизаторе и мягкого обжата и без них. Установлено, что степень ликвации на заготовке, полученной с использованием указанных систем, меньше: по углероду в 2,6 раз, марганцу в 3,2 раза, кремнию в 3,4 раза, фосфору в 1,9 раз, сере в 2,7 раза.

Ключевые слова: непрерывная разливка стали, ликвация, электромагнитное перемешивание, мягкое обжатие, темплет, качество металла.

The article presents the results of a comparative analysis of the development of segregation processes along the cross-section of continuously cast billets, produced at machines with and without systems of metal electromagnetic stirring in the mold and soft reduction. The segregation degree has been found to be less in the billet cast with the use of the indicated systems by a factor of 2.6 in carbon, 3.2 in manganese, 3.4 in silicon, 1.9 in phosphorus and 2.7 in sulfur.

Keywords: continuous casting of steel, segregation, electromagnetic stirring, soft reduction, templet, metal quality.

УДК 669.14.018.41.

Рациональная технология прокатки низкоуглеродистой конструкционной стали 14Г для конструкций общего назначения

Е. А. Голи-Оглу

NLMK-Europe DanSteel A/S, г. Фредериксверк, Дания. E-mail: ego@dansteel.dk.

Исследована низкоуглеродистая конструкционная сталь 14Г с содержанием марганца 0,7% после трех режимов обработки: горячей прокатки, нормализационной прокатки, термомеханической прокатки. Выполнен сравнительный анализ полученных характеристик стали с целью установления оптимального варианта технологии для получения требуемого уровня механических свойств.

Ключевые слова: конструкционная сталь, горячая прокатка, нормализационная прокатка, термомеханическая прокатка, механические свойства.

Microstructure and mechanical properties of low-carbon structural steel containing 0.7% manganese have been studied after hot rolling, normalizing rolling and thermomechanical rolling. Comparative analysis of mechanical properties level and optimum production conditions are presented.

Keywords: structural steel, hot rolling, normalizing rolling, thermomechanical rolling, mechanical properties.

УДК 669.168.

Разработка технологии выплавки ферросиликоалюминия из некондиционных бокситов и глиноземистых отходов металлургии и электроэнергетики

А. В. Букин, А. Н. Серегин

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

Показана принципиальная возможность получения ферросиликоалюминия с содержанием алюминия не менее 12,8% из некондиционных бокситов Иксинского месторождения электропечным карботермическим процессом. Технология применима также для переработки глиноземистых отходов электроэнергетики и металлургии.

Ключевые слова: бокситы, Иксинское месторождение, ферросиликоалюминий, глиноземистый шлак, алюминий, технология выплавки, дуговая электропечь.

The principal feasibility has been demonstrated to produce ferrosilicoaluminium with aluminum content of no less than 12,8% from sub-standard bauxite of Iksinskoye deposits by carbothermic process in electric furnaces. The technology is also applicable for the processing aluminous waste of electrical power energetics and metallurgy.

Keywords: bauxite, Iksinskoye deposit, ferrosilicoaluminium, aluminous slag, aluminum, smelting technology, electrical arc furnace.

УДК 621.78.08

Разработка интеллектуальной модели прогнозирования выходной температуры проката на установке контролируемого охлаждения

Д. В. Богачев, Е. В. Ершов, И. А. Варфоломеев

*ФГБОУ ВПО “Череповецкий государственный университет”, г. Череповец, Вологодская обл.
E-mail: bogachev-d@yandex.ru*

В работе рассматривается вопрос об использовании нейро-нечеткой модели прогнозирования итоговой температуры на установке контролируемого охлаждения листа как средства улучшения качества металла в технологическом потоке стана. Созданный модуль позволяет автоматизировать процесс формирования нейро-нечеткой структуры за счет использования субтрактивной кластеризации и алгоритма на основе конкуренции. Приведены результаты практического применения разработанной модели на стане 5000 ЛПЦ-3 ОАО «Северсталь».

Ключевые слова: установка контролируемого охлаждения, листовой прокат, термическая обработка, нейро-нечеткая модель, алгоритм обратного распространения, субтрактивная кластеризация, метод главных компонент.

This paper describes the use of the neuro-fuzzy model for predicting the final temperature of the rolled sheet at the controlled cooling unit as the means for improving the quality of metal at the production line of rolling mills. Designed module allows automatizing the process of neuro-fuzzy structures formation due to using subtractive clustering and competitive learning algorithm. The paper also includes the results of the model's usage for the mill 5000 of the Rolling Department No.3 of JSC “Severstal”.

Keywords: controlled cooling machine, rolled sheet, heat treatment, neuro-fuzzy model, back-propagation algorithm, subtractive clustering, principal component analysis.

УДК 620.193

Влияние технологических параметров прокатного передела и изготовления труб на отсортировку металлопродукции по дефектам поверхности и результатам ультразвукового контроля

А. И. Зайцев¹, И. Г. Родионова¹, С. В. Никонов², А. Д. Хорошилов¹

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

² ЧерМК ОАО «Северсталь», Россия, г. Череповец, Вологодская обл.

На металле 18 опытных плавов стали марки 10Г2ФБ-У в 350-тонных конвертерах проведено детальное исследование влияния технологических параметров прокатного передела и изготовления труб на образование дефектов поверхности, а также дефектов, выявляемых при ультразвуковом контроле. Показано, что предпосылки возникновения дефектов, как правило, закладываются на этапе сталеплавильного производства и могут проявляться в зависимости от технологических параметров последующих переделов. Установлены причины и механизмы формирования дефектов различного типа, найдены оптимальные значения ключевых технологических параметров производства, которые позволяют предупреждать их образование.

Ключевые слова: штрипсовый металл, дефекты поверхности, ультразвуковой контроль, горячая прокатка, изготовление труб, ковшовая обработка, непрерывная разливка стали, технологические параметры, механизмы.

The metal of 18 experimental steels of the grade 10G2FB-U smelted in 350-tonnage converters was thoroughly examined with the aim to establish the influence of technological parameters of rolling and pipes production on the origin of surface defects and defects detected by ultrasonic control. It has been shown that prerequisites for appearance of defects are generated at the stage of steelmaking and might reveal themselves depending on the subsequent processing technology. The causes and mechanisms of formation of various type defects have been established and optimal technological parameters have been found, which allow prevention of their formation.

Keywords: skelp steel, surface defects, ultrasonic control, hot rolling, pipe production, ladle treatment, steel continuous casting, process parameters, process mechanisms.

УДК 669.147.

Исследование и разработка температурных режимов непрерывной разливки при плазменном подогреве стали в промежуточном ковше МНЛЗ*

**Ю. А. Пак¹, Г. А. Филиппов¹, М. В. Глухих¹,
А. С. Тюфтяев², Б. А. Сарычев³**

¹ ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П.Бардина", г. Москва. E-mail: iqs12@yandex.ru, chermet@chermet.net.

² ООО "АГНИ-К", г. Москва.

³ ОАО "ММК", г. Магнитогорск.

Разработан оптимальный технологический режим плазменного подогрева металла в промежуточном ковше, включающий расчет температуры ликвидус высококачественных марок стали текущего производства и определение оптимального уровня перегрева металла в промежуточном ковше при плазменном подогреве.

Ключевые слова: непрерывная разливка стали, промежуточный ковш, плазменный подогрев стали, температура ликвидус, перегрев металла, стабилизация температуры металла.

The optimal technological regime has been found for plasma heating of metal in the intermediate ladle. It includes calculating the liquidus temperature of high-grade steels of current production and estimating the optimal level of metal overheating in the intermediate ladle during plasma treatment.

Keywords: continuous casting of steel, intermediate ladle, plasma heating of steel, liquidus temperature, metal overheating, metal temperature stabilization.

УДК 669.168.

Переработка отходов производства металлического ниобия с получением феррониобия

П. Е. Стулов, А. Н. Серегин

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

Установлена возможность переработки возгонов электронно-лучевого переплава ниобия алюминотермической электропечной плавкой с получением феррониобия стандартного состава. Проведено исследование химического и фазового состава возгонов. Сделано предположение о возможном порядке формирования фаз при образовании возгонов.

Ключевые слова: отходы, возгоны, электронно-лучевой переплав, ниобий, электропечная плавка, алюминотермия, феррониобий.

The feasibility has been established to process sublimes, formed in the course of electron-ray remelting of niobium, into ferroniobium of standard composition by aluminothermics in an electrical furnace. Chemical and phase compositions of sublimes were studied. The order has been suggested in which phases are formed in the course of sublimating.

Keywords: waste, sublimes, electron-ray melting, niobium, electric furnace smelting, aluminothermics, ferroniobium.

УДК 621.762.242 : 661.875 : 669.26.

Фазовые превращения в смеси Cr – C при механоактивации и отжиге

**О. Н. Приписнов, Е. В. Шелехов, С. И. Рупасов,
А. С. Медведев**

НИТУ “МИСиС”, г. Москва. E-mail: opripisnov@yandex.ru, rupasov@misis.ru

Смесь хром-углерод атомного состава Cr_3C_2 была подвергнута механоактивации в высокоэнергетической планетарной мельнице в течение 9 – 43 мин при соотношении шары:материал, равном 20:1 и 40:1. При такой обработке карбидообразование начинается обрывисто после 30 мин помола, когда прослойки хрома утоняются до длины диффузионного пути углерода в хром. В ходе последующего быстрого нагрева (~ 6 °C/с) механически активированной смеси до температуры 1000 °C (начиная с длительности помола 27 мин) успевает установиться фазовое равновесие. Наряду с карбидом Cr_3C_2 , отвечающим по составу исходной шихте, присутствует до 20% Cr_7C_3 . Подтверждён диффузионный характер карбидообразования как в процессе механосинтеза, так и при последующем быстром нагреве.

Ключевые слова: механическая активация, механохимический синтез, карбиды хрома, центробежная планетарная мельница, диффузия.

A mixture of chromium and carbon with Cr_3C_2 atomic composition was subjected to high-energy mechanical activation for 9 – 43 min in a planetary mill with the balls:material ratio equal to 20:1 and 40:1. Under this treatment carbides formation begins abruptly after 30 minutes of grinding when chromium interlayers thinned to the length of the diffusion path of carbon in chromium. During subsequent rapid heating (~ 6 °C/sec) of the mechanically activated mixture to the temperature of 1000 °C there is enough time (since grinding duration 27 min) for attainment of the phase equilibrium. Along with the carbide Cr_3C_2 , which corresponds to the starting mixture, up to 20% Cr_7C_3 is present. It was confirmed that carbides are form through diffusion mechanism both in the course of mechanical synthesis and the subsequent rapid heating.

Keywords: mechanical activation, mechanochemical synthesis, chromium carbides, centrifugal planetary mill, diffusion.

УДК 621.785.375.

Высокотемпературная термическая обработка как метод предотвращения межкристаллитного коррозионного растрескивания под напряжением сварных соединений из аустенитных сталей

**А. Н. Романов¹, А. Г. Державин¹, К. И. Шутько¹,
М. В. Бортников², А. Б. Коростелев³**

¹ ОАО "Ордена Ленина Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники имени Н.А. Доллежала", г. Москва, <http://www.nikiet.ru>.

² ООО "Инженерный центр прочности и материаловедения элементов атомной техники", г. Москва, <http://www.icpmae.ru>.

³ ФГУП "Институт "ГИНЦВЕТМЕТ", г. Москва, <http://www.gintsvetmet.ru>.

Представлены результаты исследований, проведенных для обоснования оптимального режима термической обработки, проводимой с целью предотвращения развития дефектов в околошовной зоне сварных соединений трубопроводов Ду300.

Ключевые слова: коррозионное растрескивание, высокотемпературная термическая обработка, трубопроводы, остаточные напряжения, сварные соединения, рекристаллизация, сенсibilизация.

The results of investigations are presented to find the optimized mode of heat treatment for preventing the development of cracks in the heat affected zone of Du300 pipeline welds.

Keywords: corrosion cracking, high-temperature heat treatment, pipelines, residual stress, welded joints, recrystallization, sensitization.

УДК 621.785.532

Структура и свойства сталей и сплавов со сверхравновесными концентрациями азота, получаемых методом газотермобарического легирования в молекулярном азоте

**Г. С. Белоусов, А. В. Омельченко, Г. А. Филиппов,
М. Е. Гетманова, А. В. Белоусов**

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

Рассмотрена возможность создания методом газотермобарического легирования (ГТБЛ) в азоте сталей и сплавов со сверхравновесными концентрациями азота с принципиально новыми свойствами. Показана эффективность технологии ГТБЛ для низколегированных конструкционных и инструментальных сталей, сталей с особыми физическими свойствами, твердых сплавов и сплавов титана. Отмечена экологическая безопасность предлагаемой технологии, ее экономическая эффективность.

Ключевые слова: азотирование, микротвердость, сверхравновесное содержание азота, активность азота.

The feasibility was considered of producing steels and alloys with superequilibrium concentrations of nitrogen and fundamentally new properties by gas-thermobaric alloying (GTBA) in nitrogen. The effectiveness of the GTBA technology was demonstrated for low-alloy structural and tool steels, steels with special physical properties, hard and titanium alloys. The proposed technology is ecological safety and cost efficient.

Keywords: nitriding, microhardness, superequilibrium nitrogen content, nitrogen activity.

УДК 669.14.018.262

Исследование выделений субмикронных частиц избыточных фаз и содержания углерода в феррите горячекатаного подката микролегированной титаном IF-стали

И. Г. Родионова¹, Д. Н. Захарова¹, Н. Г. Шапошников¹,
П. А. Мишнев², С. А. Мишнева², Р. Р. Адигамов²,
А. В. Митрофанов², А. Г. Петрова², А. С. Мельниченко³,
И. П. Чистяков⁴

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

² ЧерМК ОАО "Северсталь", г. Череповец, Вологодская обл.

³ НИТУ "МИСиС", г. Москва

⁴ ООО "УК ЛМК", г. Тольятти, Самарская обл.

Проведено исследование плотности субмикронных частиц сульфида и карбосульфида титана и концентрации несвязанного углерода в горячем подкате Ti-содержащих IF сталей промышленной выплавки. Показано, что плотность субмикронных частиц, определяющая возможность эпитаксиального роста карбида титана, зависит главным образом от параметров прокатки в черновой группе клетей. Наиболее полная стабилизации углерода в горячекатаном подкате отмечается только при выделении карбида титана из рекристаллизованного металла при условии завершения прокатки при температурах, превышающих A_3 .

Ключевые слова: сверхнизкоуглеродистая сталь, микролегирование титаном, избыточные фазы, прокатка, стабилизация углерода.

The study of the density of submicron particles of titanium sulphide and carbosulphide along with free carbon concentration in hot-rolled industrial IF steels containing Ti. It has been shown that the density of submicron particles, which determine the possibility of epitaxial growth of titanium carbide, depends mainly on the rolling parameters in the roughing group of the rolling mill. The most complete stabilization of carbon concentration in the hot-rolled steel is observed only after titanium carbide precipitation in the recrystallized metal with the proviso that the rolling is completed at temperatures higher than A_3 .

Keywords: extra-low-carbon steel, titanium microalloying, excessive phases, rolling, carbon stabilization.

УДК 621.762

Свойства немагнитных тяжёлых сплавов на основе вольфрама

И. О. Ершова, О. Б. Федотенкова

ФГУП “ЦНИИЧермет им. И.П.Бардина”, г.Москва. E-mail: akimenko08@mail.ru

Проведено комплексное исследование технологических и механических свойств, структурных параметров и специфических особенностей разрушения образцов из немагнитных материалов на основе вольфрама, произведенных по различным технологиям: “тяжёлые сплавы” – 80% W – (14 – 18) % Cu – (2 – 6) % Ni и псевдосплав W – 20% Cu. Исследовано влияние зернистости исходного вольфрамового порошка, технологических факторов (давление гидростатического прессования, температура спекания) на плотность, микропористость, разнотность в объёме заготовки и структурные параметры образцов материалов. Приведены результаты изучения теплового коэффициента линейного расширения (20 – 100 °С), механических свойств образцов при испытаниях на растяжение (20 – 300 °С) и на сжатие при 20 °С, а также влияния термической обработки заготовок на механические свойства. Показаны отличительные особенности разрушения образцов из сплава W – 16 % Cu – 4 % Ni и псевдосплава при испытаниях на растяжение (20 – 300 °С). Представлены основные технологические, структурные и физико- механические свойства заготовок из разработанных материалов, рекомендуемых для изготовления деталей гироскопических устройств и отвечающих современным требованиям к точности, надёжности и ресурсу работы.

Ключевые слова: вольфрам, медь, никель, порошковая металлургия, технологические свойства, физические и механические свойства, микроструктура, поверхности разрушения.

A comprehensive study of technological and mechanical properties, structural parameters and specific features of fracture of the samples made from tungsten-based nonmagnetic materials produced through various technologies: “heavy metals” – 80% W – (14 – 18)% Cu – (2 – 6)% Ni and the pseudo-alloy W – 20% Cu. It has been investigated as the granularity of initial tungsten powders and technological factors (pressure of hydrostatical pressing, sintering temperature) influence the density, microporosity, difference in the volume density and structural parameters of the materials samples. Results are presented of investigating thermal expansion coefficients in the range 20 – 100 °C, mechanical properties found in tensile testing at 20 – 300 °C and compression testing at 20 °C, the effect of thermal treatment on mechanical properties. Tensile tests of the W – 16 % Cu – 4 % Ni alloy and the pseudo alloy at 20 – 300 °C have revealed the distinctive features of samples fracture. The main technological, structural, physical and mechanical properties are presented of billets from the developed materials that are recommended for production of components for gyroscopic devices and meet modern requirements for accuracy, reliability and service life.

Keywords: tungsten, copper, nickel, powder metallurgy, technological properties, physical and mechanical properties, microstructure, fracture surfaces.

УДК 669.18+62-192+004.891.3+519.873+519.816+656.081

Методика оптимизации планирования ремонтных работ МНЛЗ на основе нечеткого прогнозирования фактического состояния оборудования

А. В. Кожевников, О. И. Соловьева

*ФГБОУ ВПО “Череповецкий государственный университет”, Череповец, Вологодская обл.
E-mail: kojevnikovav@chsu.ru, russkaja_87@mail.ru.*

Разработана и описана методика оптимизации планирования ремонтных работ МНЛЗ на основе нечеткого прогнозирования фактического состояния оборудования. Результаты моделирования подтверждают возможность снижения суммарных потерь, связанных с простоями производства на период ремонтов МНЛЗ путем применения разработанной методики.

Ключевые слова: машина непрерывного литья заготовок, эффективное планирование ремонтов, нечеткое прогнозирование состояния оборудования.

Developed and described the optimization technique for planning repairs of continuous casting machines based on fuzzy prediction of the actual condition of the equipment. Simulation results confirm the possibility of reducing the total losses associated with downtime of production for steel teeming repair equipment by applying the developed technique.

Key words: continuous casting machine, efficient scheduling of repairs, fuzzy forecasting the state of the equipment.

УДК 621.746.047

Оценка эффективности работы ШОС на основе современных систем контроля непрерывной разливки стали

К. Н. Анисимов, А. В. Куклев, И. В. Лебедев, А. М. Топтыгин.

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

Проанализированы данные комплекса “Кристаллизатор” и массив данных из паспортов разливки за три месяца работы. Определен уровень зачистки слябов по дефектам продольная трещина и поверхностные неметаллические включения. Выявлены зависимости качества поверхности слябов от показаний систем комплекса кристаллизатор. Определены значимые критерии систем комплекса “Кристаллизатор”, характеризующие работу серийно-применяемых ШОС.

Ключевые слова: шлакообразующая смесь, комплекс “Кристаллизатор”, продольная трещина, поверхностные неметаллические включения, вибрация, скорость изменения уровня, теплопроводность.

The data of the measuring complex “Crystallizer” and files of continuous casting reports for three months processing have been analyzed. The level of slabs chipping from defects like longitudinal cracks and surface non-metallic inclusions were determined. The relationships were established between slabs surface quality and readings of the crystallizer complex systems. Significant criteria of the “Crystallizer” complex systems were identified that allow estimating working capacity of serially-used slag-forming mixtures.

Keywords: slag-forming mixture, complex “Crystallizer”, longitudinal crack, surface non-metallic inclusions, vibration, speed of level changes, the thermal conductivity.

Семинар “Методы определения элементов в различных степенях окисления в сложных природных и техногенных объектах”

И. Ф. Серёгина, А. И. Волков

4 декабря 2013 г. в ЦНИИчермет им. И.П.Бардина состоялся семинар “Методы определения элементов в различных степенях окисления в сложных природных и техногенных объектах”. В семинаре приняли участие специалисты из учебных и отраслевых институтов, а также представители промышленных предприятий.

На семинаре были представлены доклады:

1. Серёгин А.Н. (ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П. Бардина”, г. Москва) “Технологические проблемы, требующие определения степени окисления элементов”.

2. Фофанов А.А. (ООО “ЕвразХолдинг”, г. Тула) “О необходимости прямого определения содержания разных форм ванадия в продуктах обжига передельного ванадиевого шлака”.

3. Выговская И.В. (ОАО “ЕВРАЗ Ванадий Тула”, г. Тула) “Методы определения разновалентных форм ванадия, применяемые на заводе “ЕВРАЗ Ванадий-Тула”.

4. Волков А.И. (ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П. Бардина”, г. Москва) “Некоторые результаты определения степени окисления марганца в рудах”.

5. Калинин Б.Д. (ООО “Прецизионные технологии”, г. Санкт-Петербург) “Новые идеи в развитии способов получения и обработки информации при рентгенофлуоресцентном анализе”.

6. Чижов П.С. (ФГБОУ ВПО “МГУ им. М.В. Ломоносова”, г. Москва) “Сочетание методов рентгенофлуоресцентного и рентгенофазового анализа для определения степени окисления элементов”.

7. Ковалёв А.И., Вайнштейн Д.Л., Рашковский А.Ю. (ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П.Бардина”, г. Москва) “Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия для определения степеней окисления элементов”.

8. Гендлер Т.С. (ФГБУН “Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта” РАН) “Возможности мёссбауэровской спектроскопии для определения валентности ряда элементов в соединениях”.

9. Жданов П.А. (ФГБОУ ВПО “МГУ им. М.В. Ломоносова”, г. Москва) “Использование хроматографических методов для определения ванадия, марганца и железа в разных степенях окисления”.

А.Н.Серёгин подчеркнул, что развитие современных конкурентоспособных технологий производства ферросплавов ставит перед технологами и аналитиками новые задачи. В настоящее время необходимо не просто знать содержание элемента в исходном сырье и шлаковых смесях, но и определять форму и степень окисления элемента. Например, необходимо определять содержание ванадия (III, IV, V), хрома (III, VI), марганца (II, III, IV) в рудах, а также во вторичном сырье. Для расчета состава плавильных смесей, а также для выбора наиболее эффективной технологии необходимо точно определить в исходном сырье соотношение элемент/кислород, что возможно только при определении концентрации элемента в разных степенях окисления. Задача осложняется тем, что современное производство нуждается в использовании вторичного сырья. Это отвалы металлургических производств, золы тепловых электростанций, искусственные минералы, бедные руды. Перечисленные технологические объекты имеют разный состав, меняющийся от объекта к объекту. Поэтому разработка универсальных методик определения форм элементов в различающихся по составу и свойствам образцах является актуальной.

А.А.Фофанов отметил важность прямого определения содержания V(III) и V(V) в продуктах обжига передельного ванадиевого шлака. Ванадий, присут-

ствующий в концентратах и шлаках в связанном состоянии, находясь в степени окисления (III), отличается чрезвычайно низкой химической активностью. Попытки его непосредственного выделения из железорудного и металлургического сырья химическими методами не позволили обеспечить как приемлемую степень извлечения, так и простоту технологических приёмов. Получающиеся в результате обжига с известняком мета-, орто-, пированадаты обладают различными химическими свойствами. В настоящее время в заводских лабораториях путём растворения определяют различные группы ванадатов, условно называя их кислото-, водо-, рН-, содо- и щелочерастворимые. Представленный приём отражает технологический подход к оценке фазового состояния ванадия в сырье, однако, при всей условности, эти методы позволяют успешно решать практические задачи. Решение проблемы определения содержания индивидуальных соединений ванадия в шлаке позволит по-новому подойти к пониманию технологии производства ванадия.

И.В.Выговская в своём докладе сообщила об особенностях известково-серноокислотной технологии производства оксида ванадия (V). В настоящее время при производстве V_2O_5 , в соответствии с технологическим регламентом для оценки эффективности процесса обжига, используется многостадийное серноокислотное выщелачивание ванадатов с последующим окислительно-восстановительным титрованием. Используемый метод длителен, малопродуктивен, характеризуется низкой точностью определения. Было отмечено, что замена существующего классического метода современным, позволяющим напрямую в твёрдом шлаке определить содержание ванадия (III, IV, V), является полезным шагом для повышения экспрессности.

А.И.Волков представил результаты определения содержания Mn(IV) в различных рудах. Изучены оксалатный, сульфатный, серноокислый, солянокислый, йодидно-уксуснокислый и рентгеноспектральный способы определения содержания марганца (IV). Для точного количественного определения марганца (IV) и степени окисления марганца рекомендуется применять оксалатный метод, а при наличии в материалах глинистой части — сульфатный метод. Остальные методы могут найти применение лишь для оценки степени окисления и содержания марганца (IV) в тех случаях, когда не нужна высокая точность. Метод рентгеноспектрального определения Mn(IV) (с помощью спектрометра "Спектроскан Макс GV") по искажению формы спектральной линии Mn K_{β} характеризуется низкой точностью и не рекомендован к применению.

В докладе Б.Д.Калинина обсуждены результаты определения лёгких элементов по соотношению интенсивностей линий рассеяния первичного излучения. Дифракционные линии предложено применять для определения углерода в сталях. По форме спектральных линий предложено определять химический сдвиг рентгеновских линий.

П.С.Чижов указал на недостатки стандартных химических методов определения степени окисления элементов на примере двухвалентного железа и серы сульфидной в рудах. При определении элементов в одной степени окисления некоторые минералы могут не растворяться, а другие, содержащие элемент в иной степени окисления, наоборот растворяются, что приводит к некорректным результатам. Поэтому необходим учёт фазового состава пробы. Прямое применение рентгенофазового анализа затруднено из-за сложности определения абсолютного содержания фазы, проблем с определением аморфной фазы, изменения интенсивности рефлексов в твёрдых растворах, перекрытия рефлексов, изменения геометрии элементарной ячейки и т.д. В работе предложено использовать сочетание рентгенофлуоресцентного и рентгенофазового методов. Так, с помощью спектрометра-дифрактометра ARL 9900 Workstation определяются содержание FeO в агломерате, окатышах, рудах и хвостах.

В докладе А.И.Ковалёва, Д.Л.Вайнштейна и А.Ю.Рашковского приведены сведения об идентификации химических связей на поверхности с помощью метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Этот метод нашёл применение для контроля чистоты кремниевых пластин в полупроводниковой промышленности, контроля изготовления микросхем, для анализа покрытий в авиационно-космической промышленности, в анализе золотых и платиновых руд. В докладе приведены результаты определения химического состава оксидов ниобия и вольфрама, формирующихся на поверхности износа при высокоскоростном сухом резании. Предварительные результаты показали возможность определения содержания ванадия в разных степенях окисления в техногенном сырье.

Т.С.Гендлер рассказала о возможностях метода мёссбауэровской спектроскопии. В докладе представлены результаты определения железа разных степеней окисления в частично окисленном магнетите, гематите, грейгите. Показана возможность использования метода для контроля процессов механо-синтеза нанокompозитов и ультразвуковой обработки материалов. Мёссбауэровский спектрометр был использован в марсоходе Opportunity и позволил

обнаружить на поверхности Марса ярозит, гематит, оливин, пироксен.

П.А.Жданов для определения хрома, ванадия, железа и марганца в разных степенях окисления в ванадиевых шлаках и шлаках применил хроматографические методы. В ходе работы подобраны условия разделения анионных комплексов V(IV), V(V) и Fe(III). Методами селективного выщелачивания установлено, что наиболее подвижными являются соединения ванадия и марганца, причём эти соединения обладают большей подвижностью в шлаке по сравнению со шламом. Отмечено, что при хромато-

графическом разделении форм элементов и их последующем определении возможны превращения элементов из одной формы в другую.

В конце семинара прошло обсуждение, в ходе которого представители компании "ЕВРАЗ Ванадий Тула" выразили заинтересованность в сотрудничестве с работниками научных институтов для решения технологических задач. Материалы отдельных докладов предложено опубликовать в научных журналах. Участники семинара пришли к выводу о необходимости объединения усилий для решения актуальных задач производства.

V Научно-техническая конференция молодых специалистов “Перспективы развития металлургических технологий”

А. В. Амежнов

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

21 – 22 апреля 2014 г. в ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П.Бардина” состоялась ежегодная научно-техническая конференция молодых специалистов “Перспективы развития металлургических технологий”. Конференция прошла в рамках празднования 70-летия ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П.Бардина” и приуроченной к этому событию “Недели металлов”. По сложившейся традиции целью проведения конференции являлось повышение квалификации молодых специалистов, объединение усилий представителей различных организаций в решении важных производственно-технических задач, укрепление связи науки и производства. Аспирантам и соискателям представлялась хорошая возможность апробации диссертационных работ.

На конференции впервые удалось собрать молодых специалистов, аспирантов и студентов более чем из 10 ведущих учебных заведений (НИТУ МИСиС, МГТУ им. Н.Э.Баумана, Волгоградский государственный технический университет, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова) и научно-исследовательских институтов, государственных научных центров РФ, в том числе ЦНИИ КМ Прометей, ГНЦ РФ ОАО АХК “ВНИИМЕТМАШ им. академика А.И.Целикова”, ГНЦ РФ ФГУП ВИАМ, ОАО “НИКИЭТ”.

С приветственным словом к участникам конференции обратились члены Оргкомитета: первый заместитель Генерального директора ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П.Бардина” В.А.Углов и председатель молодых ученых и специалистов ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П.Бардина” А.В.Амежнов.

В своем приветственном выступлении В.А.Углов отметил важность проведения такого рода конференций, ее значимость для молодых ученых и специалистов как учебных заведений и научно-исследовательских институтов, так и для российской науки в целом. В.А.Углов пожелал успехов всем участникам конференции.

Вниманию участников конференции было представлено 26 пленарных и 14 стендовых докладов.

Доклад А.Ю.Рашковского (ЦНИИчермет им. И.П.Бардина) “Природа термобарьерных свойств наноламинатных металл-диэлектрических покрытий” был посвящён многослойным тонкопленочным покрытиям. Ранее было показано, что многослойное TiAlN/Cu PVD покрытие имело теплопроводность ниже, чем чистый нитрид той же толщины. По аналогии методом магнетронного распыления были изготовлены многослойные гетероструктуры TiAlN/Ag толщиной от 0,5 до 1,1 мкм. Толщина отдельных слоев варьировалась от единиц до десятков нанометров. По результатам исследований покрытий различными методами было установлено, что теплопроводность тонких серебряных слоев в нанокompозите крайне мала по сравнению со значением для эталонного материала. Показано, что уже при наличии 12 чередующихся слоев 40 нм TiAlN и 40 нм Ag теплопроводность нанокompозита меньше, чем чистого TiAlN той же толщины. Энергия акустических фононов уменьшается при уменьшении толщины слоев Ag в исследованном диапазоне размеров. Уменьшение эффективной длины свободного пробега фононов при миниатюризации нанопленки, как

минимум в одном направлении, перпендикулярном подложке, существенно влияет на характер распространения фононов. Экспериментально обнаруженное увеличение энергии оптических фононов при наноструктурировании приводит к снижению упругости среды. Стесненность объема ограничивает вероятность распространения носителей тепла. Поскольку атомы в наноматериале располагаются ближе друг к другу, то межатомные силы взаимодействия становятся больше. При этом возрастает глубина потенциальной ямы межатомных взаимодействий. Это также является одной из причин рассеяния тепловых волн.

Доклад А.Д.Хорошилова (ЦНИИчермет им. И.П.Бардина) был посвящен разработке технологии выплавки и непрерывной разливки конструкционных и штрипсовых сталей.

В докладах Д.Н.Чикишева и А.О.Николаева (Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова) были рассмотрены вопросы развития теории и совершенствования технологии производства толстолистного проката в условиях ТЛС 5000 ОАО «ММК», а также результаты исследований изменения содержания водорода в стали на всем цикле производства в условиях ОАО «ММК».

Д.В.Маслов (ООО «НПФ КОМТЕРМ») представил результаты создания опытно-промышленного электрометаллургического комплекса печей для переплавных, рафинировочных, рудовосстановительных электропирометаллургических процессов на постоянном и переменном токе.

Доклад С.К.Костина (ЦНИИ КМ «Прометей») был посвящен детальному исследованию структуры и свойств коррозионностойкой стали марки 04X20H6Г11M2AFB с различным содержанием азота. Показано, что с увеличением концентрации азота предел текучести стали возрастает с 430 до 700 МПа, а величина относительного сужения снижается с 72 до 60%. При исследовании микроструктуры обнаружено, что увеличение содержания азота измельчает аустенитное зерно. В стали с содержанием азота менее 0,43% наблюдается δ-феррит, объемная доля которого составляет 2–5%, а при более 0,43% азота в стали образуются грубые строчечные включения нитридов и карбонитридов. Дополнительная высокотемпературная термическая обработка приводила к снижению прочностных свойств сталей всех составов, повышению пластичности, росту аустенитного зерна и увеличению объемной доли δ-феррита. Исследования температурной зависимости ударной вязкости (KCV) в интервале температур от –180 до +96 °C показало снижение значения величины KCV для всех

составов по мере снижения температуры испытаний. Наибольшие значения ударной вязкости, особенно при пониженных температурах, имеет сталь с содержанием азота 0,43%. Фрактографические исследования азотсодержащей стали свидетельствуют о влиянии содержания азота на появление расслоев в изломе, наличие хрупкой составляющей и вид самого излома.

Ряд докладов молодых ученых «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина» был посвящен технологиям переработки хромовых руд, катализаторов, содержащих металлы платиновой группы, отходов производства металлического ниобия, а также разработкам технологий получения ферротитана из замасленной стружки и ферросиликоалюминия из некондиционных бокситов Иксинского месторождения. С докладами выступили К.А.Кологрив, А.А.Адагамов, А.С.Кириченко, А.В.Букин, П.Е.Стулов.

На конференции были затронуты и актуальные на данный момент вопросы повышения качества, технологических и служебных свойств автолестовых сталей. В докладе А.В.Нищика (ЦНИИчермет им. И.П.Бардина) «Рекристаллизация в холоднокатаных высокопрочных низколегированных сталях» рассматривались особенности этого процесса. Калориметрическим методом определяли температурный интервал рекристаллизации. Также были проведены исследования влияния температуры на размер зерна и микротвердость. Установлено влияние химического состава и степени деформации стали на смещение температуры начала процесса рекристаллизации. В докладе Ю.С.Быковой (ЦНИИчермет им. И.П.Бардина) «Управление структурой и свойствами холоднокатаных низкоуглеродистых сталей, подвергаемых отжигу в агрегатах непрерывного действия» показано, что малая продолжительность непрерывного отжига и отсутствие камеры перестаривания в агрегате непрерывного горячего цинкования не обеспечивает полного связывания азота алюминием, что приводит к закалочному и деформационному старению. Поэтому нитрид алюминия необходимо выделять еще до отжига при высокотемпературной смотке полосы в рулон. Установлено положительное влияние повышения температуры смотки полосы до 720 °C. На выделение частиц AlN при горячей прокатке оказывает влияние количество и морфология частиц MnS. Субмикронные частицы сульфида служат подложкой для гетерогенного осаждения на них частиц нитрида алюминия. Увеличение содержания серы в стали и, соответственно, количества сульфидов марганца в подкате приводит к более полному выделению нитрида алюминия при охлаждении рулона, смотанного при достаточно высокой

температуре. Это обеспечивает повышение чистоты твердого раствора перед отжигом, снижение склонности к старению, а также уменьшение количества обособленных частиц нитрида алюминия, выделяющихся в процессе отжига, которые тормозят рекристаллизационные процессы и повышают разноразмерность структуры.

В докладе А.О.Чертаевой (ЦНИИчермет им. И.П.Бардина) представлены результаты исследований влияния качества поверхности труб из аустенитных сталей на их коррозионную стойкость. Выявлена возможность предварительной сравнительной оценки качества поверхности металла методом ПДР. Показано, что электрохимическая полировка поверхности улучшает устойчивость как к питтинговой, так и к межкристаллитной коррозии.

Доклад А.Ю.Казанкова (ЦНИИчермет им. И.П.Бардина) был посвящен исследованиям трансформации неметаллических включений системы $\text{CaO} - \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{CaS})$ при ковшовой обработке низколегированной трубной стали в конвертерном цехе ОАО "ММК". Рассмотрены возможные механизмы изменения состава включений, учитывающие образование на поверхности шпинели слоя алюмината кальция за счет модифицирующего действия CaO и растворенного в расплаве кальция. Показано, что включения указанной системы могут инициировать возникновение очагов локальной коррозии при контакте с агрессивными водными средами. Предложен механизм образования питтинга и растрова в области присутствия включения за счет растворения алломокальциевой и сульфидной составляющих включения.

В докладе А.А.Холодного (ЦНИИчермет им. И.П.Бардина) рассмотрены вопросы влияния режимов термомеханической обработки на микроструктуру, механические свойства и стойкость против водородного растрескивания низколегированных трубных сталей. Выявлены оптимальные температурно-скоростные параметры контролируемой прокатки и ускоренного охлаждения, обеспечивающие формирование однородной по толщине феррито-бейнитной микроструктуры, необходимые механические свойства и высокую стойкость против водородного растрескивания.

В докладе А.А.Кичкиной (ЦНИИчермет им. И.П.Бардина) были представлены результаты детального исследования морфологии структурных составляющих и комплекса механических свойств высокопрочных трубных сталей категории прочности X90 – X100. Проведенные исследования выявили зависимости механических свойств высокопрочных трубных сталей от типа структурных составляющих.

В докладе А.С.Адамова (ЦНИИчермет им. И.П.Бардина) изложена технология горячего цинкования металлоконструкций и представлены новые технологические решения.

И.Ю.Уткин (ЦНИИчермет им. И.П.Бардина) представил результаты комплексного исследования путей совершенствования композиций сталей и оптимизации сварочной технологии. Показано, что микролегирование ниобием до 0,1% обеспечивает высокую ударную вязкость и низкий температурный порог хладноломкости. Ниобий не оказывает отрицательного влияния на образование трещин при стыковой сварке трубопроводов. Стали классов прочности X70 и X80, содержащие ниобий Nb (0,056 – 0,10%) и добавки хрома, рекомендуются в качестве базовой основы для особо надежных прямошовных труб большого диаметра.

В докладе Р.В.Сундеева (ЦНИИчермет им. И.П.Бардина) обсуждены вопросы влияния деформации в наковальнях Бриджмена на изменения структурно-фазового состояния в металлических сплавах. Экспериментально обнаружено, что чем ниже температура кристаллизации аморфного сплава, тем большее значение объёмной доли кристаллической фазы наблюдается после деформации. Установлено, что МПД при комнатной температуре в исходно аморфном или исходно кристаллическом сплаве $\text{Ti}_{50}\text{Ni}_{25}\text{Cu}_{25}$ приводит к реализации нескольких циклов фазовых превращений типа "кристалл-аморфное состояние". Наблюдение таких многократных циклических превращений при МПД возможно лишь в том случае, когда сплав характеризуется высокой склонностью к деформационной аморфизации и одновременно высокой склонностью к деформационной кристаллизации.

А.М.Махоткин (ВНИИМЕТМАШ им. акад. А.И.Целикова) представил результаты разработки и внедрения высокоточных клетей повышенной жесткости для калибровочных трубопрокатных станов. Установлено, что трубы, прошедшие термическую обработку, могут иметь отклонения по наружному диаметру: от +0,9 до -0,7 и от +1,2 до -0,6%, соответственно, для труб диаметром 50 – 114 и 114 – 168 мм. Для получения требуемых геометрических параметров труб в линии термоотдела устанавливают калибровочный стан, предназначенный для тепловой обработки наружного диаметра труб по всей длине. Специалистами ВНИИМЕТМАШ разработана серия станов для калибровки труб диаметром до 168 мм, 273 мм и 426 мм, которые соответствуют всем требованиям, предъявляемым к такому оборудованию.

Доклад А.Н.Романова (ОАО "НИКИЭТ") был посвящен актуальной и остро стоящей проблеме

исключения межкристаллитного растрескивания под напряжением (МКРПН) сварных соединений трубопроводов Ду300, поставляемых на АЭС с реакторной установкой РБМК-1000. По результатам работы внедрена технология высокотемпературной термической обработки при температуре 900 °С на прямых участках и отводах аустенитных трубопроводов Ду300 контура многократной принудительной циркуляции энергоблоков АЭС, исключая МКРПН.

Большой интерес и оживленную дискуссию вызвал доклад А.И.Крюковой (ЦНИИчермет им. И.П.Бардина) “Разработка методов улучшения макро- и микроструктуры НЛЗ путём управления формированием благоприятной системы неметаллических включений”. Общеизвестно, что основными факторами контролирующими склонность стали к водородному растрескиванию (ВР) являются вытянутые неметаллические включения и выделения избыточных фаз, неравномерно распределенные твердые структурные составляющие. ВР наблюдается, главным образом, в осевой зоне проката и является следствием химической и структурной неоднородности непрерывно литой заготовки, наличия сегрегаций марганца, углерода, серы и фосфора. В работе показано, что в непрерывно литой заготовке, прокат из которой являлся годным, содержится большое количество субмикронных включений, нехарактерное для негодного металла. Наличие таких включений, образующихся в ходе разлива металла, позволяет подавить направленную кристаллизацию. В результате не происходит отеснения ликвидирующих элементов в осевую зону, вызывающих ВР. Установлена связь между плотностью субмикронных включений на 1 мм² в НЛЗ, макроструктурой НЛЗ и стойкостью конечного проката к ВР. Были разработаны технологические приёмы для обеспечения формирования достаточного количества таких субмикронных неметаллических включений.

В докладе А.А.Томчука (ЦНИИчермет им. И.П.Бардина) рассмотрены вопросы происхождения высокоугловых границ зерен в металлах, подвергнутых мегапластической деформации.

В ходе работы конференции практически все затронутые авторами проблемы активно обсуждались. По итогам конференции Конкурсной комиссией были определены лучшие пленарные и стендовые доклады с соответствующим денежным вознаграждением. Решением Конкурсной комиссии призовые места были распределены следующим образом:

I место за пленарный доклад было присуждено **А.И.Крюковой** (ЦНИИчермет им. И.П.Бардина) за доклад “Разработка методов улучшения макро- и микроструктуры НЛЗ путём управления формированием благоприятной системы неметаллических включений”.

II место за пленарный доклад было присуждено **С.К.Костину** (ЦНИИ КМ “Прометей”) за доклад “Структура и свойства коррозионно-стойкой стали марки 04Х20Н6Г11М2АФБ с различным содержанием азота”.

III место за пленарный доклад было присуждено **Р.В.Сундееву** (ЦНИИчермет им. И.П.Бардина) за доклад “Влияние деформации в наковальнях Бриджмена на изменения структурно-фазового состояния в металлических сплавах”.

I место за стендовый доклад было присуждено **П.Г.Мартьянову** (ЦНИИчермет им. И.П.Бардина) за доклад “Разработка режимов термической обработки листового проката толщиной 10 – 25 мм из высокопрочных сталей типа WELDOX 700 и HARDOX 400 для грузоподъемной и горнодобывающей техники”.

II место за стендовый доклад было присуждено **А.П.Пантюхину** (ЦНИИчермет им. И.П.Бардина) за доклад “Разработка и исследование эксплуатационных характеристик новой экономнолегированной жаропрочной хромоникелевой стали для работы при 700 – 1100 °С”.

III место за стендовый доклад было присуждено **Р.А.Коноплеву** (ЦНИИчермет им. И.П.Бардина) за доклад “Опытно-промышленные испытания по выплавке низкоуглеродистого ферромарганца”.