

ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

СОДЕРЖАНИЕ

3 • 2021

Сырьевая база черной металлургии

Д. И. Алексеев, А. Н. Смирнов

Моделирование процесса контроля сырья на металлургическом производстве на примере существующего показателя степени окисленности углей и возможные меры по его модернизации.....5

Технологические процессы металлургии

**А. В. Амежнов, В. А. Куторкина, Л. Я. Левков, О. Н. Бакланова, А. А. Павлов,
А. В. Соболев, С. А. Балашов, П. С. Яковлева, И. Г. Родионова**

Исследования условий, обеспечивающих минимизацию угара титана при электрошлаковом переплаве коррозионностойкой стали типа X18H10T 11

В. В. Науменко

Повышение стойкости против водородного растрескивания проката и прямошовных труб, сваренных ТВЧ, из конструкционной стали17

Переработка техногенного сырья

А. И. Волков, У. А. Кологрива

Исследование вещественного состава золы от сжигания тяжелых фракций нефти и природного битума в качестве сырья для извлечения ванадия27

Материаловедение и новые материалы

**Р. В. Кузнецов, В. Е. Громов, Ю. Ф. Иванов, В. Е. Кормышев,
Ю. А. Шлярова, Е. В. Полевой, А. А. Юрьев**

Эволюция структурно-фазовых состояний и свойств дифференцированно закаленных 100-метровых рельсов при экстремально длительной эксплуатации. Сообщение 4. Формирование градиентов структурно-фазового состояния металла головки рельсов по центральной оси после пропущенного тоннажа 1770 млн т брутто37

А. В. Колдаев, А. Б. Степанов, А. И. Зайцев

Исследование закономерностей формирования структуры специальных легированных сталей для производства высокопрочных крепежных изделий методом холодной объемной штамповки47

И. Г. Родионова, А. А. Павлов, Н. А. Карамышева, В. Е. Телегин,

С. В. Денисов, С. Г. Андреев, А. А. Папшев

Исследование механизмов формирования структуры и свойств холоднокатаной низколегированной стали (типа HSLA) высоких классов прочности55

И. Г. Родионова, А. В. Амежнов, Ю. С. Гладченкова, И. А. Васечкина

Исследование структурных характеристик стали, влияющих на ее коррозионную стойкость, в том числе формирование защитных пленок69

Наноматериалы и нанотехнологии

А. М. Глезер

Методы упрочнения современных материалов путем экстремальных воздействий81

Контроль металлургического производства и металлопродукции

**Л. С. Белевский, Ю. Ю. Ефимова, К. В. Григорович, Р. Р. Дема, С. И. Платов,
П. А. Витязь, В. Л. Басинюк, М. А. Леванцевич, А. Б. Гизатуллин**

Металлографические исследования резьбовых покрытий муфт насосно-компрессорных труб после испытания на муфтонаверточной машине90

ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Главный редактор:

Семенов В.В., к.э.н.

Заместители главного редактора:

Леонтьев Л.И., академик РАН

Глезер А.М., д.ф.-м.н.

Могутнов Б.М., д.х.н.

Члены редколлегии:

Алымов М.И., член-корр. РАН

Бабул Т., профессор (Польша)

Бродов А.А., к.э.н.

Григорович К.В., академик РАН

Денисов С.Н., д.э.н.

Дуб А.В., д.т.н.

Еремин Г.Н., к.т.н.

Зайцев А.И., д.ф.-м.н.

Иевлев В.М., академик РАН

Комлев В.С., член-корр. РАН

Куклев А.В., д.т.н.

Левашов Е.А., д.т.н.

Морозов Ю.Д., к.т.н.

Москвина Т.П., к.т.н.

Никулин А.Н., д.т.н.

Оспенникова О.Г., д.т.н.

Орыщенко А.С., член-корр. РАН

Петрова Л.Г., д.т.н.

Рубаник В.В., член-корр. НАНБ (Беларусь)

Рудской А.И., академик РАН

Родионова И.Г., д.т.н.

Скачков О.А.

Смирнов Л.А., академик РАН

Сомерс М.А.Дж., профессор (Дания)

Филиппов Г.А., д.т.н.

Филонов М.Р., д.т.н.

Флюге В., профессор (Германия)

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

58999 Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» на сайте www.ppressa-rf.ru и «Пресса по подписке» <https://www.akc.ru>.

Зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций свидетельство ПИ № ФС77-60022

© ЦНИИчермет им. И.П. Бардина 2021

УДК 662.74.012:658.562

Моделирование процесса контроля сырья на металлургическом производстве на примере существующего показателя степени окисленности углей и возможные меры по его модернизации

Д. И. Алексеев¹, А. Н. Смирнов²

¹Новотроицкий филиал НИТУ МИСИС, г. Новотроицк.

E-mail: alekseev41047@mail.ru

²Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск. E-mail: sman@magtu.ru

В настоящее время большинство металлургических предприятий имеют системы мониторинга поступающего на производство сырья. Системы мониторинга сырья, как и любые другие, нуждаются в периодической проверке и модернизации. В статье показана проверка средствами имитационного моделирования одного из действующих показателей качества угольного сырья — показателя степени окисленности углей Π_o . Установлено, что показатель Π_o достаточно эффективен, но может иметь некорректные значения при оценке таких угольных марок, как ОС, КС, КЖ, К, КО. На основе результатов моделирования предложены меры по модернизации Π_o . Представленный пример имитационного моделирования может быть распространен на анализ других показателей металлургического сырья.

Ключевые слова: уголь, степень окисленности угля, менеджмент качества металлургического предприятия, имитационная модель, сырье.

Currently, most metallurgical enterprises have monitoring systems for raw materials. Raw materials monitoring systems need periodic checks and upgrades. The article by means of simulation modeling provides verification of the coal quality indicator namely an indicator of the degree of oxidation of coals Π_o . It has been established that the Π_o indicator is quite effective, but may have incorrect values at such coal grades as OS, KS, KZh, K, CO. Based on the simulation results, measures are proposed to modernize Π_o . The example of simulation presented in the article can be extended to the analysis of any indicators of metallurgical raw materials.

Keywords: coal, coal oxidation level, quality management of a metallurgical plant, simulation model, raw materials.

УДК 669.187.56:62-419.4

Исследования условий, обеспечивающих минимизацию угара титана при электрошлаковом переплаве коррозионностойкой стали типа X18H10T

**А. В. Амежнов¹, В. А. Куторкина², Л. Я. Левков³,
О. Н. Бакланова¹, А. А. Павлов¹, А. В. Соболев⁴,
С. А. Балашов⁴, П. С. Яковлева⁴, И. Г. Родионова¹**

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

² Национальный исследовательский технологический университет “МИСиС”, Москва, E-mail: v_kutorkina00@mail.ru

³ АО “НПО “ЦНИИТМАШ”, г. Москва, E-mail: 6758745@mail.ru

⁴ АО “Северсталь Менеджмент”, г. Череповец, E-mail: av.sobolev1@severstal.com

Показано, что для минимизации угара титана в процессе электрошлакового переплава (ЭШП) сталей, содержащих титан, обязательным условием является ввод в исходный флюс некоторого количества диоксида титана. Так, при содержании диоксида титана в исходном флюсе на уровне 5 % угар титана снижается в 1,5 раза. Дополнительное раскисление шлака по ходу плавки алюминием и титаном в количестве 6 г Al и 1 г Ti на 1 кг переплавляемого металла способствует снижению угара титана по сравнению с флюсом без добавки диоксида титана более чем в 3,5 раза (с 82 % до 23 %) и с добавкой диоксида титана без дополнительного раскисления — в 2,5 раза.

Ключевые слова: электрошлаковый переплав, электрошлаковая наплавка, коррозионностойкая сталь, биметалл, угар титана, раскисление шлака, плакирующий слой.

It is shown that in order to minimize the carbon monoxide of titanium in the process of electroslag remelting of steels containing titanium, the introduction of a certain amount of titanium dioxide into the initial flux is a prerequisite. Thus, when the content of titanium dioxide in the initial flux is at the level of 5%, the carbon monoxide of titanium is reduced by 1.5 times. Additional deoxidation of slag during melting with aluminum and titanium in the amount of 6 grams of Al and 1 gram of Ti per 1 kg of the melted metal reduces the metal loss of titanium compared to the flux without the addition of titanium dioxide by more than 3.5 times (from 82% to 23%) and with the addition of titanium dioxide without additional deoxidation — by 2.5 times.

Keywords: electroslag remelting, electroslag surfacing, corrosion-resistant steel, bimetal, metal loss of titanium, slag deoxidation, cladding layer.

УДК 669.15-194.2

Повышение стойкости против водородного растрескивания проката и прямошовных труб, сваренных ТВЧ, из конструкционной стали

В. В. Науменко^{1,2}

¹ АО «Выксунский металлургический завод», г. Выкса. E-mail: naumenko_vv@vsw.ru

² НИТУ МИСиС (Выксунский филиал), г. Выкса

Представлены результаты исследования стойкости против водородного растрескивания проката и прямошовных труб, сваренных токами высокой частоты, из конструкционной стали, содержащей 0,16 – 0,22 % углерода, произведенных по двум различным технологиям внепечной обработки в условиях АО «Выксунский металлургический завод». Установлено, что при наличии в металле неметаллических включений вытянутой (протяженной) морфологии деформация в холодном состоянии при формовке проката в трубу снижает коррозионную стойкость в сероводородсодержащих средах даже при последующей двойной термической обработке в виде закалки из аустенитной области и высокого отпуска. Установлено, что для обеспечения стойкости против водородного растрескивания трубной продукции необходимо комбинированное воздействие на металл: модифицирование неметаллических включений при производстве стали и формирование оптимальной структуры бейнита отпуска с уровнем микронапряжений менее 0,08 – 0,075 % и плотностью дислокаций менее $1,20 \cdot 10^{13} \text{ м}^{-2}$ путем применения двойной термической обработки.

Ключевые слова: конструкционная сталь, прокат, труба ТВЧ, термическая обработка, закалка, отпуск, водородное растрескивание в H_2S -среде, трещина, микроструктура, неметаллические включения.

The results of a study of the resistance against hydrogen cracking of rolled products and straight-seam pipes welded by high-frequency currents from structural steel containing 0.16 – 0.22 % carbon produced using two different technologies of out-of-furnace processing in the conditions of “Vyksa Steel Works” are presented. It is established that in the presence of non-metallic inclusions of elongated (extended) morphology in the metal, cold deformation during forming of rolled products into a pipe reduces corrosion resistance in hydrogen sulfide-containing media even with subsequent double heat treatment in the form of quenching from the austenitic region and high tempering. It is established that in order to ensure resistance against hydrogen cracking of pipe products, a combined effect on metal is necessary — the modification of non-metallic inclusions in the production of steel and the formation of an optimal structure of bainite with a micro-stress level of less than 0.08 – 0.075 % and a dislocation density of less than $1.20 \cdot 10^{13} \text{ m}^{-2}$ by applying double heat treatment.

Keywords: low-alloy structural steel, rolled products, HFC pipe, heat treatment, quenching, tempering, hydrogen cracking in H_2S medium, crack, microstructure, non-metallic inclusions.

УДК 546.881:661.888.1

Исследование вещественного состава золы от сжигания тяжелых фракций нефти и природного битума в качестве сырья для извлечения ванадия

А. И. Волков, У. А. Кологриева

*ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П. Бардина”, г. Москва,
E-mail: rhenium@list.ru, ufowka@mail.ru*

Методами РФА и АЭС-МВП изучен химический состав золы, полученной сжиганием различных продуктов переработки нефти и природного битума. Показано, что химический состав золы непостоянный, он меняется в зависимости от вида и месторождения исходного углеродного материала, а также от условий их переработки. Изучение спектров РФЭС позволило установить соединения элементов в образце золы от сжигания мазута. В изученном образце золы от сжигания мазута обнаружены следующие соединения: FeSO_4 , Fe_3O_4 , CaO , Al_2O_3 , ванадий в форме соединений V^{5+} , V^{4+} , V^{3+} , V^{n+} , $0 < n < 3$; адсорбированные углеводороды C_nH_m , углерод в виде органических соединений со связями $\text{O}-\text{C}$, $\text{O}=\text{C}$.

Ключевые слова: зола, нефть, битум, нефтяной кокс, ванадий, химический анализ, формы элементов, степень окисления, рентгенофлуоресцентный анализ, атомно-эмиссионная спектрометрия с микроволновой плазмой, рентгеновская фотоэлектронная спектрометрия.

The chemical composition of ash obtained by burning various products of oil refining and natural bitumen was studied by the methods of XRF and AES-MWP. It is shown that the chemical composition of ash is unstable and varies depending not only on the type and deposit of the initial carbon material, but also on the conditions of their processing. The study of the XPS spectra made it possible to establish the compounds of elements in a sample of ash from the combustion of fuel oil. The following compounds were found in the studied sample of ash from the combustion of fuel oil: FeSO_4 , Fe_3O_4 , CaO , Al_2O_3 , vanadium in the form of compounds V^{5+} , V^{4+} , V^{3+} , V^{n+} , $0 < n < 3$; adsorbed hydrocarbons C_nH_m , carbon in the form of organic compounds with $\text{O}-\text{C}$ bonds, $\text{O}=\text{C}$.

Keywords: ash, oil, bitumen, petroleum coke, vanadium, chemical analysis, forms of elements, degree of oxidation, X-ray fluorescence analysis, atomic emission spectrometry with microwave plasma, X-ray photoelectron spectrometry.

УДК 669.539.382:669.17:625.1

Эволюция структурно-фазовых состояний и свойств дифференцированно закаленных 100-метровых рельсов при экстремально длительной эксплуатации. Сообщение 4. Формирование градиентов структурно-фазового состояния металла головки рельсов по центральной оси после пропущенного тоннажа 1770 млн т брутто

**Р. В. Кузнецов¹, В. Е. Громов¹, Ю. Ф. Иванов²,
В. Е. Кормышев¹, Ю. А. Шлярова¹, Е. В. Полевой³,
А. А. Юрьев³**

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

²Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск,

³АО «Евраз-Западно-Сибирский металлургический комбинат», г. Новокузнецк

Методами современного физического материаловедения исследовано формирование градиентов структуры, фазового состава, дислокационной субструктуры, доли углерода и карбидной фазы в головке дифференцированно закаленных 100-м рельсов на глубине до 10 мм по центральной оси после пропущенного тоннажа 1770 млн т брутто на экспериментальном кольце РЖД. Проведено сравнение с данными вдоль радиуса скругления рабочей выкружки.

Ключевые слова: рельсы, градиенты, структура, фазовый состав, дислокации, перераспределение углерода.

Using the methods of modern material science the investigations of gradient formation of structure, phase composition, dislocation substructure, parts of carbon and carbide phase in the head of differentially quenched 100-meter rails at the depth up to 10 mm along the central axis after passed tonnage 1,770 mln. tons brutto on the experimental ring of Russian railways are carried out. The comparison with the data along the working fillet symmetry axis is made.

Keywords: rails, gradients, structure, phase composition, dislocations, carbon redistribution.

УДК 672.88.02: 669.15-194

Исследование закономерностей формирования структуры специальных легированных сталей для производства высокопрочных крепежных изделий методом холодной объемной штамповки

А. В. Колдаев, А. Б. Степанов, А. И. Зайцев

ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П. Бардина”, г. Москва, E-mail: aizaitsev1@yandex.ru

Выполнено исследование закономерностей формирования структуры сортового проката из специальных легированных сталей различного состава при разных параметрах термомеханической обработки с целью установления условий формирования оптимальной микроструктуры металла для изготовления методом холодной объемной штамповки высокопрочных крепежных изделий до класса прочности 14,9. Показано, что наиболее оптимальным является получение горячекатаного проката с преимущественно бейнитной микроструктурой и минимальным содержанием структурно несвязанных ферритных зерен. Произведено компьютерное моделирование термокинетических диаграмм распада переохлажденного аустенита специальных легированных сталей разного состава (марок), а также параметров прокаливаемости с помощью разработанного программного обеспечения. Выбраны оптимальные составы сталей и показано, что важным фактором для получения в микроструктуре горячего проката бейнита после прокатки при скоростях охлаждения бунтов на крупных сортовых станах в диапазоне 0,1 – 0,4 °C/s является наличие молибдена в составе стали. Для достижения высоких показателей прокаливаемости и механических свойств необходимо легирование марганцем, хромом и никелем в концентрациях 0,5 – 1,5 %, а также бором в диапазоне 0,003 – 0,005 %.

Ключевые слова: высокопрочный крепеж, холодная объемная штамповка, сортовой прокат, борсодержащие стали, специальные легированные стали, моделирование термокинетических диаграмм, моделирование параметров прокаливаемости

A study of the regularities of the formation of the structure of round roll products from special alloy steels of various compositions at different parameters of thermal deformation processing was carried out in order to establish the conditions for the formation of an optimal microstructure of metal for the manufacture of high-strength fasteners up to strength class 14.9 by cold stamping. It is shown that the most optimal is to obtain hot-rolled products with a predominantly bainitic microstructure and a minimum content of structurally unbound ferrite grains. Computer simulation of thermokinetic diagrams of decomposition of supercooled austenite of special alloy steels of different composition (grades), as well as hardenability parameters, was carried out using the developed software. Optimal steel compositions were selected, and it was shown that an important factor for obtaining bainite in the microstructure of hot rolled products after rolling at coil cooling rates on large section mills in the range of 0.1 – 0.4 °C/s is the presence of molybdenum in the steel composition. To achieve high hardenability and mechanical properties, it is necessary to alloy with manganese, chromium and nickel in concentrations of 0.5 – 1.5 %, as well as boron in the range of 0.003 – 0.005%.

Keywords: high-strength fasteners, cold stamping, round roll products, boron-containing steels, special alloy steels, modeling of thermokinetic diagrams, modeling of hardenability parameters.

УДК 669.15-194.2:621.785.375

Исследование механизмов формирования структуры и свойств холоднокатаной низколегированной стали (типа HSLA) высоких классов прочности

**И. Г. Родионова¹, А. А. Павлов¹,
Н. А. Карамышева¹, В. Е. Телегин²,
С. В. Денисов², С. Г. Андреев², А. А. Папшев¹**

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

² ПАО “Магнитогорский металлургический комбинат”, г. Магнитогорск, Челябинская обл.

По результатам выпуска опытно-промышленных партий холоднокатаного и горячеоцинкованного листового проката, а также лабораторного моделирования различных режимов отжига в агрегате непрерывного отжига (АНО) и в агрегате непрерывного горячего цинкования (АНГЦ) исследованы механизмы формирования структуры и свойств холоднокатаной низколегированной стали (типа HSLA) высоких классов прочности с пределом текучести не менее 380 МПа.

Ключевые слова: высокопрочные холоднокатаные и горячеоцинкованные стали типа HSLA, химический состав, обработка в агрегатах непрерывного отжига и непрерывного горячего цинкования, технологические параметры, механические свойства, характеристики микроструктуры, лабораторное моделирование.

Based on the results of the production of pilot batches of cold-rolled and hot-dip-galvanized sheet steel, as well as laboratory modeling of various annealing modes in a continuous annealing unit (CAU) and in a continuous hot-dip galvanizing unit (CHDG unit), the mechanisms of formation of the structure and properties of cold-rolled low-alloy steel (HSLA type) of high strength classes with a yield point of at least 380 MPa.

Keywords: high-strength cold-rolled and hot-dip galvanized steels of the HSLA type, chemical composition, treatment in a continuous annealing unit, technological parameters, mechanical properties, microstructure characteristics, laboratory modeling.

МПа).

УДК 620.193.4:621.785:669.1

Исследование структурных характеристик стали, влияющих на ее коррозионную стойкость, в том числе формирование защитных пленок

**И. Г. Родионова¹, А. В. Амежнов¹,
Ю. С. Гладченкова², И. А. Васечкина³**

¹ГНЦ ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П.Бардина”, Россия, Москва,
E-mail: igrodi@mail.ru, amejnov@mail.ru

²Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова.
Химический факультет. Россия, Москва, E-mail: jubykova@yandex.ru

³Национальный исследовательский технологический университет “МИСЦС”.
Россия, Москва, E-mail: i.vasechkina@chermet.net

Проведены комплексные исследования структурных характеристик сталей лабораторной выплавки различных марок, используемых в настоящее время для труб нефтепромыслового назначения. Проведены динамические коррозионные испытания указанных сталей в среде, моделирующей нефтепромысловую водную среду хлоридно-кальциевого типа. Показано, что коррозионная стойкость стали в такой водной среде зависит не только от содержания хрома, участвующего в образовании на стальной поверхности защитных пленок продуктов коррозии. Необходимо также предупредить присутствие в структуре стали компонентов, вызывающих повышенный уровень напряжений и, тем самым, способствующих разрушению защитных пленок. К таким компонентам структуры могут относиться, в частности, неметаллические включения неблагоприятного химического состава, ферритно-перлитная полосчатость, а также выделения избыточных карбонитридных фаз, в первую очередь, наноразмерные межфазного типа.

Ключевые слова: низколегированные стали, нефтепромысловые трубопроводы, коррозионная стойкость, микроструктура, химический состав, неметаллические включения, выделения избыточных фаз, продукты коррозии, защитные пленки.

Comprehensive studies of the structural characteristics of laboratory-smelted steels of various grades, which are currently used for oilfield pipes, have been carried out. Dynamic corrosion tests of these steels were carried out in an environment simulating a calcium chloride-type oilfield water environment. It is shown that the corrosion resistance of steel in such an aqueous medium depends not only on the chromium content involved in the formation of protective films of corrosion products on the steel surface. It is also necessary to prevent the presence in the steel structure of components that cause an increased level of stresses and, thereby, contribute to the destruction of protective films. Such structural components can include, in particular, non-metallic inclusions of unfavorable chemical composition, ferrite-pearlite banding, as well as precipitation of excess carbonitride phases, primarily, nanosized interphase type.

Keywords: low-alloy steels, oil-field pipelines, corrosion resistance, microstructure, chemical composition, non-metallic inclusions, precipitation of excess phases, corrosion products, protective films.

УДК 53.09:538.9:539.2:539.4

Методы упрочнения современных материалов путем экстремальных воздействий

А. М. Глезер

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

В кратком обзоре систематически рассмотрены способы экстремальных воздействий на металлические твердые тела с целью создания предельных структурных состояний и уникальных физико-механических свойств. Рассмотрены принципы комплексных экстремальных воздействий и инженерии границ зерен, позволяющие получить перспективные многофункциональные материалы с прочностью, близкой к теоретическому пределу.

Ключевые слова: аморфный сплав, нанокристаллический сплав, упрочнение, закалка из жидкого состояния, мегапластическая деформация, криогенная деформация.

In a brief review, methods of extreme actions on metal solids are systematically considered in order to create limiting structural states and unique physical and mechanical properties. The principles of complex extreme actions and engineering of grain boundaries are considered, which make it possible to obtain promising multifunctional materials with a strength close to the theoretical limit.

Key words: amorphous alloy, nanocrystalline alloy, hardening, quenching from a liquid state, megaplastic deformation, cryogenic deformation.

УДК 669.056.99:620.1

Металлографические исследования резьбовых покрытий муфт насосно-компрессорных труб после испытания на муфтонаверточной машине

**Л. С. Белевский¹, Ю. Ю. Ефимова¹,
К. В. Григорович², Р. Р. Дема¹, С. И. Платов¹,
П. А. Витязь³, В. Л. Басинюк⁴, М. А. Леванцевич⁴,
А. Б. Гизатуллин⁵**

¹ ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, E-mail: demarr78@mail.ru

² ИМЕТ РАН им. А.А. Байкова, г. Москва

³ НАН Беларуси, г. Минск

⁴ Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск

⁵ АО «ПНТЗ», г. Первоуральск

Проведены металлографические исследования покрытий из латуни, полученных фрикционным плакированием, на внутренней резьбе муфт насосно-компрессорных труб (НКТ). Исследования проведены после испытаний муфт на муфтонаверточной машине СКР-500. Полученное покрытие сплошное, толщиной от 6 до 25 мкм. Под покрытием на поверхности внешней резьбы образуется волокнистый слой протяженностью до 6 мкм, состоящий из вытянутых зерен феррита, ориентированных параллельно поверхности образца. Повышение твердости поверхностного деформированного слоя по отношению к основному металлу составило 16 %.

Ключевые слова: муфты НКТ, фрикционное плакирование, металлографическое исследование.

Metallographic studies of brass coatings obtained by friction cladding on the internal thread of tubing couplings have been carried out. The studies were carried out after testing couplings on a CKR-500 coupling makeup machine. The coating obtained is continuous with a thickness of 6 to 25 μm . A fibrous layer with a length of up to 6 μm is formed under the coating on the surface of the external thread, consisting of elongated ferrite grains oriented parallel to the surface of the sample. The increase in the hardness of the surface deformed layer in relation to the base metal was 16%.

Keywords: tubing couplings, friction cladding, metallographic research.