

# ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

СОДЕРЖАНИЕ

1 • 2015

## *Теоретические основы металлургии*

**В. Е. Рошин, А. В. Рошин, К. Т. Ахметов, В. Д. Поволоцкий, Ю. Н. Гойхенберг**  
Формирование металлической и карбидных фаз при получении углеродистого феррохрома: теория и эксперимент ..... 5

**Г. Н. Гурьянов**  
Оценка эффективности формоизменения проволоки в проходе волочения ..... 19

## *Сырьевая база черной металлургии*

**И. С. Ермаков, Б. Л. Тужиков, А. А. Фофанов, Л. Л. Сухов, И. В. Выговская, О. В. Беликова**  
Увеличение производительности участка плавления пентоксида ванадия ОАО "ЕВРАЗ Ванадий Тула" за счет снижения влажности пасты пентоксида ванадия ..... 25

## *Технологические процессы металлургии*

**А. С. Вусихис, Л. И. Леонтьев, В. С. Гуляков, Д. З. Кудинов**  
Эффективность использования бакальских сидеритов в доменном процессе ..... 29

**А. И. Зайцев, А. Б. Степанов, Б. А. Сарычев, А. Ю. Дзюба**  
Исследование типов и причин возникновения дефектов непрерывнолитых заготовок, сортового проката и готовых изделий из рессорно-пружинных сталей, в том числе, связанных с образованием неметаллических включений ..... 35

**Л. Е. Щукина, А. Е. Сёмин, А. С. Тюфтяев, Г. А. Филиппов**  
Влияние режимов плазменно-дугового переплава на содержание азота в стали 10X8HMBФБ ..... 46

**С. В. Стукалин, А. Ю. Казанков**  
Эволюция неметаллических включений в процессе внепечной обработки конструкционных сталей ..... 50

## *Материаловедение и новые материалы*

**И. П. Шабалов, Д. М. Соловьев, Г. А. Филиппов, О. В. Ливанова**  
Влияние формовки в вальцах на комплекс механических свойств металла электросварных труб большого диаметра ..... 60

**М. Ю. Семенов**  
Оценка влияния условий трения на контактную выносливость подвергнутых химико-термической обработке зубчатых колес из комплексно-легированных теплостойких сталей ..... 70

**Е. В. Капралов, Е. А. Будовских, В. Е. Громов, С. В. Райков, А. М. Глезер, Ю. Ф. Иванов**  
Структура и свойства износостойкой наплавки на сталь Хардокс 400 ..... 80

**В. Ю. Навценя, В. Г. Стручалин, Н. О. Ливанова, Г. А. Филиппов**  
Влияние длительной эксплуатации и деформационного старения конструкционной стали 09Г2С на сопротивление разрушению и искрообразующую способность ..... 87

## *Порошковая металлургия*

**И. О. Ершова, О. Б. Федотенкова**  
Порошковые композиционные материалы на основе молибдена ..... 93

## *Экономика и организация производства*

**Н. Х. Мухатдинов, А. С. Тюфтяев, Д. И. Юсупов, Г. А. Филиппов**  
Экономическая эффективность применения плазменного подогрева стали в промковше МНЛЗ ..... 99

## *Контроль металлургического производства и металлопродукции*

**М. А. Голенков, А. Д. Чертов, В. М. Паршин**  
Модель системы прогнозирования дефектов и управления качеством непрерывнолитых заготовок .... 103

# PROBLEMS OF FERROUS METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE

CONTENT

1 • 2015

## *Fundamentals of metallurgy*

**V. E. Roshchin, A. V. Roshchin, K. T. Akhmetov, V. D. Povolotskiy, Yu. N. Goykhenberg**  
Formation of metallic and carbide phases in the preparation of carbon ferro-chromium: theory and experiment ..... 5

**G. N. Gur'yanov**  
Evaluating the effectiveness of wire deformation in drawing pass ..... 19

## *Raw materials for ferrous metallurgy*

**I. S. Ermakov, B. L. Tuzhikov, A. A. Fofanov, L. L. Sykhov, I. V. Vygodskaya, O. V. Belikova**  
Increasing the capacity of the vanadium pentoxide melting shop at the "Evraz Vanadiy Tula" open society through reducing the humidity of vanadium pentoxide paste ..... 25

## *Production processes in metallurgy*

**A. S. Vusikhis, L. I. Leont'ev, V. S. Gulyakov, D. Z. Kudinov**  
The effectiveness of the use of Bakal siderites in the blast-furnace process ..... 29

**A. I. Zaitsev, A. B. Stepanov, B. A. Sarychev, A. Yu. Dzyuba**  
The study of types and causes of defects formation in continuously cast ingots, bars and finished products of spring steels, including defects associated with non-metallic inclusions ..... 35

**L. E. Shchukina, A. E. Semin, A. S. Tyuftyaev, G. A. Filippov**  
Influence of conditions of plasma-arc remelting on the nitrogen content in the 10Cr8NiMoWVNB steel ..... 46

**S. V. Stukalin, A. Yu. Kazankov**  
Evolution of non-metallic inclusions in the course of ladle treatment of constructional steels ..... 50

## *Materials science and new materials*

**I. P. Shabalov, D. M. Solov'ev, G. A. Filippov, O. V. Livanova**  
Influence of 3-roll bending process on the mechanical properties of the metal of large diameter electric-welded pipes ..... 60

**M. Yu. Semenov**  
Assessing the impact of the conditions of friction on the contact endurance of gears from a complex-alloyed heat resistant steels subjected to thermo-chemical treatment ..... 70

**E. V. Kapralov, E. A. Budovskikh, V. E. Gromov, S. V. Raykov, A. M. Glezer, Y. F. Ivanov**  
Structure and properties of wear-resistant surfacing on steel Hardox 400 ..... 80

**V. Yu. Navtsenya, V. G. Struchalin, N. O. Livanova, G. A. Filippov**  
Influence of prolonged operation and strain aging of the 09Mn2Si structural steel on resistance to destruction and spark producing ability ..... 87

## *Powder metallurgy*

**I. O. Ershova, O. B. Fedotenkova**  
Powder composite materials based on molybdenum ..... 93

## *Economy and organization of production*

**N. Kh. Mukhatdinov, A. S. Tyuftyaev, L. I. Yusupov, G. A. Filippov**  
Economic efficiency of steel plasma heating in the tundish of CCM ..... 99

## *Control of metallurgical manufacture and metal products*

**M. A. Golenkov, A. D. Chertov, V. M. Parshin**  
Model of the system for defects prediction and quality control of continuously cast billets ..... 103

УДК 661.811

## **Формирование металлической и карбидных фаз при получении углеродистого феррохрома: теория и эксперимент**

**В. Е. Рощин, А. В. Рощин, К. Т. Ахметов, В. Д. Поволоцкий, Ю. Н. Гойхенберг**

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

Проанализированы существующие теоретические представления о механизме восстановления железа и хрома из природных хромитов. Показана недостаточная корректность попыток объяснять экспериментальные результаты с позиций двухстадийной схемы углеродотермического восстановления. Обобщены результаты собственных экспериментальных исследований восстановления металлов из хромитовых руд разного генезиса, отмечено активное участие в восстановительном процессе силикатной фазы вмещающей породы. Проведены эксперименты с искусственным нанесением на поверхность хромшпинелидов силикатных фаз разного состава. Появление силикатной прослойки между восстановителем и шпинелидом резко ускорило процесс восстановления металлов внутри шпинелида и образования на наружной поверхности силикатной прослойки слоя карбидов. Полученные в данной работе и известные ранее экспериментальные результаты проанализированы с позиций развиваемой авторами электрохимической теории селективного твёрдофазного окисления-восстановления. Показано соответствие экспериментальных результатов развиваемым положениям теории.

Ключевые слова: хромовые руды, хром, углеродистый феррохром, восстановление, карбидообразование, шестизарядный катион хрома, электрохимические процессы.

---

The current theoretical understanding of the mechanism of reduction of iron and chromium from natural chromites has been analyzed. It is shown that efforts to explain the experimental results in the context of the two-stage scheme of carbothermic reduction are not quite correct. The results of own experimental investigations of metal recovery from chromite ores of different genesis have been generalized. Active involvement of a silicate phase of host rocks in the recovery process was found. Experiments were carried out with chromspinelides, which surfaces were covered with silicate phases of different composition. The silicate layer between the reducing agent and the spinelides dramatically accelerated reactions of metals recovery within the spinelides and formation of carbides layers on the silicates outer surface layer. The present and previously obtained experimental results have been analyzed in the context of the electrochemical theory of selective solid-phase oxidation-reduction, which is developing by the authors. The experimental results are consistent with the theory.

Keywords: chrome ores, chromium, carbon ferrochrome, recovery, carbide formation, six-charging cation of chromium, electrochemical processes.

УДК 621.778

## Оценка эффективности формоизменения проволоки в проходе волочения

**Г. Н. Гурьянов**

*ООО "ФЕНИКС +", Башкортостан 453500, г. Белорецк, ул. Крупской, 43 – 31.  
E-mail: GGNbelorhome@rambler.ru*

Предложено оценивать эффективность формоизменения в проходе волочения по отношению значений прироста осевого напряжения на осуществление пластической деформации и осевого напряжения в тянущем конце проволочной заготовки. Приведены результаты расчёта относительного прироста осевого напряжения, идущего на изменение формы заготовки, преодоление силы контактного трения и осуществление дополнительной деформации сдвига металла на входе и выходе рабочего конуса волоки в зависимости от основных параметров деформации.

Ключевые слова: волочение, проволока, осевое напряжение, волока, изменение формы, запас прочности, коэффициент трения, деформационное упрочнение.

---

It has been suggested to evaluate the effectiveness of deformation in the course of drawing by the ratio between the increase in the axial stress required for plastic deformation and the axial stress at the drawing end of the wire rod. The results are presented of calculations (in relation to deformation basic parameters) of the relative increase in the axial stress, required for changing the shape of the workpiece; for overcoming the contact friction force and for additional shear strain of the metal in the inlet and outlet of the operating die bell.

Keywords: drawing, wire, axial stress, die, deformation, safety factor, friction coefficient, strain hardening.

УДК 620.067.1

## **Увеличение производительности участка плавления пентоксида ванадия ОАО “ЕВРАЗ Ванадий Тула” за счет снижения влажности пасты пентоксида ванадия**

**И. С. Ермаков<sup>1</sup>, Б. Л. Тужиков<sup>1</sup>, А. А. Фофанов<sup>2</sup>,  
Л. Л. Сухов<sup>1</sup>, И. В. Выговская<sup>1</sup>, О. В. Беликова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ОАО “ЕВРАЗ Ванадий Тула”, г. Тула. E-mail: Ivan.Ermakov@evraz.com, vanadium@evraz.com

<sup>2</sup> ООО “ЕвразХолдинг”, г. Москва. E-mail: Alexander.Fofanov@evraz.com

Анализ работы ОАО “ЕВРАЗ Ванадий Тула” в различные периоды времени выявил прямую зависимость производительности участка плавления пентоксида ванадия от влажности пасты пентоксида ванадия, загружаемой в печь плавки. Проведенные опытно-промышленные испытания позволили подобрать оптимальную циклограмму работы фильтр-прессов. В результате проведенных мероприятий удалось снизить влажность пасты пентоксида ванадия в среднем на 3,5%, тем самым увеличив производительность участка плавления пентоксида ванадия на 11,8%.

Ключевые слова: пентоксид ванадия, паста, влажность, фильтр-пресс, производительность.

Analysis of operation of the “Evraz Vanadiy Tula” open society at varying length of time has revealed a direct dependence of the capacity of the vanadium pentoxide melting shop on the humidity of vanadium pentoxide paste charged into the smelting furnace. Conducted trial tests allowed selection an optimal cyclogram for filter-presses operations. The performed measures resulted in reducing the vanadium pentoxide paste humidity by 3.5 pct. on average thus increasing the capacity of the vanadium pentoxide melting shop by 11.8 pct.

Keywords: vanadium pentoxide, paste, humidity, filter-press, capacity.

УДК 669.1

## **Эффективность использования бакальских сидеритов в доменном процессе**

**А. С. Вусихис, Л. И. Леонтьев, В. С. Гуляков, Д. З. Кудинов**

*Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург.*

*E-mail: vas58@mail.ru, gvs49@mail.ru, d.kudinov@mail.ru.*

В работе проведена оценка эффективности использования различных сидеритовых материалов, изготовленных из исходной руды (сырой; обожженный; упрочненный; металлизированный сидерит, последний в виде концентратов, восстановленных до различной степени металлизации –  $Fe_{мет}/Fe_{общ} - 20 - 80 \%$ ), при введении их в рудную часть шихты доменной плавки в количестве от 5 до 20 %, путем сопоставления базовых показателей работы доменной печи с результатами аналитических расчетов. Показано, что параметры доменной плавки могут улучшаться в зависимости от условий получения этих материалов (повышается производительность, снижается расход кокса). Но общая тенденция современного доменного процесса – использование сидеритов для подшихтовки в количествах не более 15 – 20 % от общего количества железорудной части шихты – сохраняется. Необходима разработка иной схемы переработки сидеритов, которая позволила бы расширить объем их использования.

Ключевые слова: сидерит, концентрат, оксид магния, декарбонизация, обжиг, металлизация, доменная плавка, математическая модель.

---

In this paper we evaluated the effectiveness of the use of different siderite materials made from the original ore (raw; calcined; hardened; metallized siderites in the form of concentrates recovered to varying degrees of metallization –  $Fe_{мет}/Fe_{total} - 20 - 80 \text{ pct}$ ) through correlation between the base factors of blast furnaces operation and the results of analytical calculations. These materials were added to the ore part of blast-furnace burden in the amount from 5 to 20 pct. It was found that indexes of blast-furnaces smelting can be improved depending on the conditions of these materials production (productivity increased, coke consumption reduced). But the general tendency of modern blast furnace process – the use of siderites for burdening in the amounts of no more than 15 – 20 pct of the total amount of iron ore, is saved. Development of another scheme for siderites processing is required for theirs use expansion.

Keywords: siderite, concentrate, magnesium oxide, decarbonization, annealing, metallization, blast furnace - smelting, mathematical model.

УДК 669-422.11.

## **Исследование типов и причин возникновения дефектов непрерывнолитых заготовок, сортового проката и готовых изделий из рессорно-пружинных сталей, в том числе, связанных с образованием неметаллических включений**

**А. И. Зайцев<sup>1</sup>, А. Б. Степанов<sup>1</sup>, Б. А. Сарычев<sup>2</sup>, А. Ю. Дзюба<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина», г. Москва. E-mail: aizaitsev@yandex.ru, aizaitsev@mtu-net.ru.

<sup>2</sup> ОАО «ММК», г.Магнитогорск.

С использованием современных методик оптической и электронной микроскопии, локального рентгеноспектрального анализа выполнено детальное исследование металла непрерывнолитой заготовки, круглого сортового проката диаметром 14 мм и изготовленных из него упругих элементов (пружин). Установлено, что со сталеплавильным производством связаны и могут быть предупреждены следующие дефекты: раскатанный пузырь, трещина и зона полного или частичного обезуглероживания. Формирование других, намного более представительных видов дефектов (неметаллические включения, вкатанная окалина, зоны полного или частичного обезуглероживания, плена, частично трещина), а также возможных их суперпозиций происходит в процессе нагрева заготовок и горячей пластической деформации в результате общего и селективного окисления стали, развития эффекта Ребиндера.

Ключевые слова: рессорно-пружинные стали, круглый сортовой прокат, дефекты металла, сталеплавильное производство, прокатное производство, неметаллические включения, окалина, обезуглероживание.

---

Modern techniques of optical and electron microscopy, X-ray spectrometry were used for detailed research of the metal of continuously cast ingots, round bars of 14 mm in diameter and resilient elements (springs) made from the bars. It was found that the defects like expanded blisters, cracks and zones of complete or partial decarburization are connected with steelmaking and can be prevented. Forming other much more representative types of defects (non-metallic inclusions, rolled-in scale, zone of partial or complete decarburization, scab, partially crack), as well as their possible superposition, occurs in the course of ingots heating and hot plastic deformation due to general and selective oxidation of the metal, development of Rebinder effect.

Keywords: spring steel, round bars, metal defects, steelmaking, rolling, non-metallic inclusions, scale, decarburization.

---

УДК 669.786

## **Влияние режимов плазменно-дугового переплава на содержание азота в стали 10Х8НМВФБ**

**Л. Е. Щукина<sup>1</sup>, А. Е. Сёмин<sup>1</sup>, А. С. Тюфтяев<sup>2</sup>, Г. А. Филиппов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> НИТУ "МИСиС", г. Москва. E-mail: asemin2007@yandex.ru.

<sup>2</sup> Объединенный Институт Высоких температур РАН, г. Москва. E-mail: 16mvp@mail.ru.

<sup>3</sup> ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П.Бардина", г. Москва. E-mail: lutik\_181@mail.ru, iqs12@yandex.ru.

В статье рассмотрены режимы легирования стали азотом при плазменно-дуговом переплаве. Использование плазмы позволяет влиять на форму присутствия азота в газовом потоке (молекулярная, возбужденная, атомарная). В последних двух формах азот весьма активно поглощается металлом, что позволяет за достаточно короткое время получить требуемое его содержание в металле. Проведена серия лабораторных экспериментов по азотированию стали 10Х8НМВФБ, в результате которых установлены наилучшие параметры процесса.

Ключевые слова: специальная металлургия, азотистые стали, плазменно-дуговой переплав, расход азота, содержание азота.

---

The article deals with conditions of steel alloying with nitrogen in the course of plasma-arc remelting. Plasma using allows influencing the form of nitrogen presence in the gas stream (molecular, excited, atomic). Nitrogen in the last two forms is very actively absorbed by the metal, which permits obtaining its desired concentration in the metal for a relatively short time. A series of laboratory experiments on nitriding the 10Cr8NiMoWVNb steel have been carried out, which resulted in determination the best conditions of the process.

Keywords: special metallurgy, nitrogen steel, plasma-arc remelting, nitrogen consumption flow, the nitrogen content.



УДК 669-419.4.

## Эволюция неметаллических включений в процессе внепечной обработки конструкционных сталей

С. В. Стукалин, А. Ю. Казанков

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

В работе исследована эволюция неметаллических включений в низколегированных сталях, раскисленных алюминием и обработанных кальцием на стадиях от выпуска металла до разливки. Состав включений определяли при помощи электронной микроскопии методом энергодисперсионного анализа. Установлено, что в составе раскисленного металла преимущественно встречаются включения с ядром из алюмомагниевого шпинели, которые после обработки кальцием трансформируются во включения системы  $MgO - Al_2O_3 - CaO$  с сульфидной оболочкой из CaS. Выявлена зависимость количества неметаллических включений системы  $MgO - Al_2O_3 - CaO - CaS$  от содержания кальция и серы в металле.

Ключевые слова: внепечная обработка, неметаллические включения, состав, эволюция, коррозионная активность, алюмомагниевого шпинель, сульфиды, алюминат кальция.

---

Evolution of non-metallic inclusions in Al-killed, Ca-treated low-alloy steels has been studied at the stages from tapping to casting. The composition of inclusions was determined using electron microscopy by means of energy-dispersive analysis. It has been established that in the deoxidized metal predominantly occurring inclusions have aluminum-magnesium spinel cores. After processing with calcium they transform into  $MgO - Al_2O_3 - CaO$  inclusions enveloped in CaS sulfide. It was found how the amount of non-metallic inclusions of the  $MgO - Al_2O_3 - CaO - CaS$  system depended on calcium and sulfur content in the metal.

Keywords: ladle treatment, non-metallic inclusions, composition, evolution, corrosivity, aluminum-magnesium spinel, sulfides, calcium aluminate.

УДК 621.774.2.

## **Влияние формовки в вальцах на комплекс механических свойств металла электросварных труб большого диаметра**

**И. П. Шабалов, Д. М. Соловьев, Г. А. Филиппов, О. В. Ливанова**

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

Проведены исследования комплекса механических свойств и сопротивления разрушению металла листа и готовой трубы, изготовленных на линии формовки в вальцах в исходном и состаренном состоянии. Установлено, что трубный передел не оказывает существенного влияния на прочностные и пластические характеристики, но повышает ударную вязкость относительно уровня листа. В наибольшей степени трубный передел оказывает влияние на параметры сопротивления разрушению в области “кромка”. Трубный передел повышает склонность к деформационному старению, а развитие деградиационных процессов при длительной эксплуатации труб зависит от степени деформационного воздействия в локальных областях по сечению трубы.

Ключевые слова: формовка в вальцах, электросварные трубы большого диаметра, деформационное старение, механические свойства.

---

Researches have been performed of the complex of mechanical properties and resistance to destruction of the metals of a sheet and a finished pipe, produced on the line with 3-roll bending process, in the initial and aged states. The pipe repartition is found to have no essential effect on strength and plastic characteristics, but it increases the impact strength concerning the sheet level. The most pronounced effect the pipe repartition has on the parameters of destruction resistance of the edge area. The pipe repartition increases tendency to strain ageing, but the development of degradation processes at long operation of pipes depends on the extent of deformation influence in local areas on the pipe section.

Keywords: 3-roll bending process, electric-welded pipes of large diameter, strain ageing, mechanical properties.

УДК 621.785.5:539.62

# **Оценка влияния условий трения на контактную выносливость подвергнутых химико-термической обработке зубчатых колес из комплексно-легированных теплостойких сталей**

**М.Ю. Семенов**

*ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П. Бардина”, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва.  
Email: szigona.podzogin@gmail.com*

Проведена оценка сопротивления контактной усталости поверхности подвергнутых химико-термической обработке зубчатых колес из теплостойких сталей в зависимости от эффективности защиты от схватывания. На основе расчетов влияния интенсивности трения на распределение приведенных контактных напряжений в зубчатом зацеплении обоснована гипотеза о существовании двух механизмов контактно-усталостного разрушения: поверхностного и подповерхностного, приоритет которых определяется условиями взаимодействия сопряженных поверхностей. Предложены рекомендации по выбору материалов и вариантов химико-термической обработки высоконагруженных зубчатых передач.

Ключевые слова: химико-термическая обработка, комплексно-легированные стали, теплостойкие стали, контактно-усталостное разрушение, трение

---

The contact fatigue resistance of gear wheels made from heat-resistant steels and hardened by thermo-chemical treatment has been estimated depending on the effectiveness of seizure protection. Based on calculations of the friction effect on the contact stress distribution in gearing a hypothesis has been justified that there exist two mechanisms of contact fatigue damages: surface and subsurface. The mechanisms priority depends on the friction conditions. Recommendations have been suggested for choosing steel grades and thermo-chemical treatment options for heavily loaded gears.

Keywords: thermo-chemical treatment, complex-alloyed steels, heat-resistant steels, contact fatigue failure, friction.

УДК 620.179:621.791.927.5

## Структура и свойства износостойкой наплавки на сталь Хардокс 400

**Е. В. Капралов<sup>1</sup>, Е. А. Будовских<sup>1</sup>, В. Е. Громов<sup>1</sup>, С. В. Райков<sup>1</sup>,  
А. М. Глезер<sup>2</sup>, Ю. Ф. Иванов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк.

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

<sup>2</sup>ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина», г. Москва. E-mail: a.glezer@mail.ru.

<sup>3</sup>Институт сильноточной электроники СО РАН, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск.

Методами световой, просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии, а также рентгеноструктурного анализа проанализированы особенности структуры и фазового состава электродуговой наплавки порошковой проволокой EnDOtec DO\*30 на сталь Hardox 400. Установлено, что наплавка имеет износостойкость в два раза выше, а коэффициент трения в 1,2 раза ниже, чем исходная сталь. Основной причиной увеличения трибологических характеристик наплавки по сравнению с подложкой является формирование в ней нано- и субмикроразмерных частиц карбидных, боридных и карбоборидных фаз на основе железа (более 40%).

Ключевые слова: электродуговая наплавка, порошковая проволока, структурно-фазовое состояние, износостойкость, коэффициент трения, нано- и субмикроразмерные фазы.

---

Methods of optical, transmission and scanning electron microscopy, X-ray diffraction analysis were applied to study specific features of the structure and phase composition of the facing on the surface of the Hardox 400 steel arc welded by the EnDOtec DO\*30 powder wire. It was established that the facing has wear resistance two times higher and the friction coefficient of 1.2 times lower than the initial steel. The main reason for the increase of the facing tribological characteristics compared with the sublayer lies in the formation in it of nanosized and submicroscopic particles of carbide, boride and carboboride phases on iron basis (over 40 %).

Keywords: arc-welded facing, powder wire, structural-phase state, wear resistance, friction coefficient, nanosized particles, submicroscopic particles.

УДК 669.15: 614.8

# Влияние длительной эксплуатации и деформационного старения конструкционной стали 09Г2С на сопротивление разрушению и искрообразующую способность

В. Ю. Навценя<sup>1</sup>, В. Г. Стручалин<sup>1</sup>, Н. О. Ливанова<sup>2</sup>,  
Г. А. Филиппов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет путей сообщения "МИИТ", г. Москва.

<sup>2</sup> ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина", г. Москва. E-mail: iqs12@yandex.ru

Исследовано влияния длительной эксплуатации на механические свойства, сопротивление разрушению и склонность к деформационному старению стали 09Г2С, используемой в качестве материала для железнодорожных цистерн. Установлено, что длительная эксплуатация практически не оказывает влияния на временное сопротивление и пластические свойства, но снижает сопротивление разрушению. Показано, что в результате деформационного старения повышается предел текучести. Высказано предположение об отрицательном влиянии деформационного старения стали 09Г2С на процесс искрообразования.

Ключевые слова: железнодорожные цистерны, длительная эксплуатация, пожароопасность, искрообразование, механические свойства, деформационное старение, трещиностойкость.

---

Influences of continuous long-term operation have been studied on mechanical properties, resistance to destruction and tendency to strain aging of the 09Mn2Si steel, which is used as the material for railway tanks. The continuous long-term operation is established to have practically no impact on temporary resistance and plastic properties, but reduces resistance to destruction. It is shown that strain aging resulted in increasing the yield strength. It is suggested that strain aging of the 09Mn2Si steel might affect negatively spark formation process.

Keywords: railway tanks, continuous operation, fire hazard, spark formation, mechanical properties, strain aging, crack resistance.

УДК 621.762

## **Порошковые композиционные материалы на основе молибдена**

**И. О. Ершова, О. Б. Федотенкова**

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

Рассмотрены технологические особенности изготовления порошковых деформированных и композиционных материалов типа псевдосплавов на основе молибдена, их преимущества и недостатки. Исследован фазовый состав после спекания композиционных материалов с добавками тугоплавких соединений металлов IVA – VA групп таблицы Д.И.Менделеева (карбиды, бориды, нитриды, оксиды). Изучены механические свойства материалов при 20 – 1800 °С при испытаниях на растяжение. Показаны преимущества и недостатки псевдосплавов на основе молибдена и вольфрама. Исследованы особенности разрушения образцов по типу излома после механических испытаний.

Ключевые слова: молибден, вольфрам, медь, порошковая металлургия, тугоплавкие соединения, композиционные материалы, псевдосплав, микроструктура, механические свойства, поверхность разрушения.

---

Technological features of manufacturing, advantages and disadvantages were considered of molybdenum-based powder deformed and powder composite materials of the pseudo-alloys type. The phase composition was studied of the sintered composite materials doped with refractory compounds of metals that belonged to the IVA – VA groups of the periodic table (carbides, borides, nitrides, oxides). Mechanical properties of the materials were studied at 20-1800 centigrade by tensile tests. The advantages and disadvantages of pseudo-alloys based on molybdenum and tungsten were revealed. The specific features of samples fracture surfaces after mechanical testing were examined.

Keywords: molybdenum, tungsten, copper, powder metallurgy, refractory compounds, composite materials, pseudo-alloy, microstructure, mechanical properties, fracture surface.

УДК 621.746.047

## **Экономическая эффективность применения плазменного подогрева стали в проковше МНЛЗ**

**Н. Х. Мухатдинов<sup>1</sup>, А. С. Тюфтяев<sup>2</sup>, Д. И. Юсупов<sup>2</sup>,  
Г. А. Филиппов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г. Москва.

<sup>2</sup>Объединённый институт высоких температур РАН, г. Москва. E-mail: spt\_yusupov@mail.ru.

Статистические исследования зависимости выхода годного металла от степени перегрева над ликвидусом при разливке показали возможность значительного увеличения выхода металла путём стабилизации температуры стали при разливке, сохраняя минимальный перегрев над ликвидусом. Один из существующих способов достижения этой цели – плазменный подогрев стали в проковше. Был произведён оценочный расчёт экономической эффективности капитальных вложений при внедрении плазменного подогрева стали в проковше МНЛЗ.

Ключевые слова: плазменный подогрев металла, промежуточный ковш, экономическая эффективность, температура стали, качество сляба.

---

Statistical research of metal yield, depending on the degree of superheating above liquidus in the course of casting, has revealed the possibility of a significant increase in metal yield by stabilizing the temperature of the casting steel and maintaining minimum superheating above liquidus. One of the existing methods to achieve this goal is plasma heating of steel in the tundish. Estimate calculations were carried out of the cost efficiency of capital investments in the implementation of plasma heating of steel in the caster tundish.

Keywords: plasma heating of metal, tundish, economic efficiency, steel temperature, slab quality.

УДК 621.746:681.5.001.57.

## **Модель системы прогнозирования дефектов и управления качеством непрерывнолитых заготовок**

**М. А. Голенков, А. Д. Чертов, В. М. Паршин**

*ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина", г. Москва. E-mail: xfl@comtv.ru*

В статье изложен подход, применяемый для поиска взаимосвязей между технологическими параметрами непрерывной разливки и показателями качества непрерывнолитых заготовок. Представлены особенности расчета и результаты функционирования модели системы прогнозирования качества слябов.

Ключевые слова: непрерывная разливка, слябовая заготовка, прогнозирование дефектов, управление качеством, интеллектуальная система, нейронная сеть.

---

The article describes an approach for searching relationships between the technological parameters of continuous casting and cast billets quality indicators. Specific features of calculations are presented together with the results of functioning of the system model for slabs quality prediction.

Keywords: continuous casting, slab blank, defects forecasting, quality control, intelligent system, neural network.