

# ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

3 • 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Теоретические основы металлургии</i>	
<b>В.Т. Бурцев, С.Н. Анучкин, А.В. Самохин</b> Исследование влияния экзогенных тугоплавких наночастиц на удаление меди из расплавов железа и их влияние на капиллярные свойства металла .....	5
<i>Технологические процессы металлургии</i>	
<b>Г. С. Белоусов, К. В. Волков, Б. К. Каскин, А. Н. Никулин, В. В. Обилец, Г. А. Филиппов</b> Оптимизация температурно-деформационных условий прокатки заготовок в черновой клети рельсобалочного стана .....	16
<b>Г. П. Карзов, И. В. Теплухина, В. И. Богданов, А. С. Цветков, Т. И. Титова, Н. А. Шульган, Д. В. Ратушев, О. Н. Журавлева, С. Ю. Афанасьев, Д. С. Акинин</b> Опыт производства крупногабаритных заготовок из стали 15Х2МФА-А модификация А для корпуса реактора Курской АЭС-2 по проекту ВВЭР-ТОИ .....	27
<b>М. Е. Гетманова, О. В. Ливанова, Н. О. Ливанова, А. Н. Никулин, Г. А. Филиппов</b> Повышение эффективности деформационной проработки металла непрерывнолитой заготовки при производстве железнодорожных колес .....	37
<i>Материаловедение и новые материалы</i>	
<b>П. А. Харин, Н. Г. Зинченко, Т. М. Медведева, А. Ф. Шевакин, А. П. Пантюхин, И. Б. Половов, И. В. Кабанов</b> Эксплуатационные и технологические свойства сплава ХН62М-ВИ .....	48
<b>И. Г. Родионова, А. В. Амежнов, Е. И. Заркова, В. И. Иремашвили</b> Повышение коррозионной стойкости сталей, предназначенных для эксплуатации в морской воде .....	59
<b>Ю. Д. Морозов, И. Ф. Пемов, Б. Ф. Зинько, Н. В. Илюшин</b> Проблемы производства сталей для мостостроения в России .....	66
<b>А. И. Зайцев, И. Г. Родионова, Е. С. Клюева, А. В. Колдаев, Д. М. Левин, Г. В. Маркова, Б. М. Могутнов, И. А. Краснянская</b> Исследование содержания примесей внедрения в IF стали методом внутреннего трения .....	78
<b>А. А. Буржанов, М. П. Галкин, В. В. Гук, Е. А. Браницкая, Г. А. Филиппов</b> Влияние структурного состояния и микролегирования РЗМ на коррозионную стойкость трип-стали с метастабильным аустенитом .....	86
<i>Информация</i>	
Борису Александровичу Сиваку – 70 лет .....	95

# PROBLEMS OF FERROUS METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE

3 • 2019

## CONTENTS

<i>Fundamentals of metallurgy</i>	
<b>V. T. Burtsev, S. N. Anuchkin, A. V. Samokhin</b> Investigation of the effect of exogenous refractory nanoparticles on the removal of copper from iron melts and their influence on the metal capillary properties .....	5
<i>Production processes in metallurgy</i>	
<b>G. S. Belousov, K. V. Volkov, B. K. Kaskin, A. N. Nikulin, V. V. Obilets, G. A. Filippov</b> Optimization of temperature and deformation conditions of billets rolling at the roughing stand of structural mill.....	16
<b>G. P. Karzov, I. V. Teplukhina, V. I. Bogdanov, A. S. Tsvetkov, T. I. Titova, N. A. Shulgan, D. V. Ratushev, O. N. Zuravleva, S. U. Afansiev, D. S. Akinin</b> Production experience of large blanks from steel 15KH2MFA-A modification A for the reactor pressure vessel of Kursk NPP-2 on the WWER-TOI project.....	27
<b>M. E. Getmanova, O. V. Livanova, N. O. Livanova, A. N. Nikulin, G. A. Filippov</b> Improving the efficiency of deformation treatment of the metal of continuously cast billets in the production of railway wheels.....	37
<i>Materials science and new materials</i>	
<b>P. A. Kharin, N. G. Zinchenko, T. M. Medvedeva, A. F. Shevakin, A. P. Pantyukhin, I. B. Polovov, I. V. Kabanov</b> Operational and technological properties of the CrNi62Mo-VI alloy.....	48
<b>I. G. Rodionova, A. V. Amezhnov, E. I. Zarkova, V. I. Iremashvily</b> Improving the corrosion resistance of steels intended for use in seawater.....	59
<b>Yu. D. Morozov, I. F. Pemov, B. F. Zinko, N. V. Ilyushin</b> Problems of production of steels for bridge building in Russia.....	66
<b>A. I. Zaitsev, I. G. Rodionova, E. S. Klyueva, A. V. Koldaev, D. M. Levin, G. V. Markova, B. M. Mogutnov, I. A. Krasnyanskaya</b> Investigation of interstitial impurities content in IF steel by internal friction method.....	78
<b>A. A. Burzhanov, M. P. Galkin, V. V. Guk, E. A. Branitskaya, G. A. Filippov</b> The effect of the structural state and microalloying with rare-earth metals on the corrosion resistance of trip steel with metastable austenite .....	86
<b>Information</b>	
Boris A. Sivak — 70 anniversary .....	95

# ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

---

## **Главный редактор**

канд. техн. наук В.А.Углов

## **Заместители главного редактора:**

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

## **Редакционная коллегия:**

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

## **Адрес редакции:**

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

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

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

## **ISSN 1997-9258**

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

© ЦНИИчермет им. И.П. Бардина 2019

УДК 621.7: 669.1'75.017.1

## **Исследование влияния экзогенных тугоплавких наночастиц на удаление меди из расплавов железа и их влияние на капиллярные свойства металла**

**В.Т. Бурцев, С.Н. Анучкин, А.В. Самохин**

*Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, г. Москва.  
E-mail: burtsev@imet.ac.ru*

Для обоснования выбора тугоплавких нанофаз использовали термодинамические расчеты по диссоциации соединений, процессам испарения меди и литературные данные по смачиванию металл-керамика. Изучили взаимодействие наночастиц  $Al_2O_3$  и  $MgAl_2O_4$  с поверхностно-активным веществом — медью в модельных расплавах Fe – Cu и легированной стали. Обнаружили, что максимальная степень удаления Cu составила в системе Fe – Cu — 24 отн. % и в стали 12X18H10T — 23 отн. % в зависимости от времени пребывания наночастиц в расплаве. Методом большой капли изучили капиллярные свойства и впервые показали, что введение в расплав Fe-Cu наночастиц привело к инверсии коэффициента  $\partial\sigma/\partial T$ , а также к компрессии плотности по сравнению с чистым железом.

Ключевые слова: гетерофазное взаимодействие, экзогенные наночастицы, система Fe-Cu, сталь, поверхностное натяжение, плотность металла.

To substantiate the choice of refractory nanophases, thermodynamic calculations on the dissociation of compounds, processes of copper evaporation and literature data on metal-ceramic wetting were used. Interaction of  $Al_2O_3$  and  $MgAl_2O_4$  nanoparticles with a surface-active substance - copper were studied in model Fe-Cu melts and alloyed steel. It has been found that the maximum degree of Cu removal was 24 rel. pct. from the Fe – Cu system and 23 rel. pct. from the steel 12Cr18Ni10Ti depending on the duration of the nanoparticles stay in the melt. The capillary properties were studied using the large drop method and for the first time it has been shown that the introduction of nanoparticles into the Fe-Cu melts leads to the inversion of the coefficient  $\partial\sigma/\partial T$ , as well as to the density compression as compared with pure iron.

Keywords: heterophase interaction, exogenous nanoparticles, Fe-Cu system, steel, surface tension, metal density.

УДК 621.78.01: 621.771.26

## **Оптимизация температурно-деформационных условий прокатки заготовок в черновой клети рельсобалочного стана**

**Г. С. Белоусов<sup>1</sup>, К. В. Волков<sup>2</sup>, Б. К. Каскин<sup>2</sup>,  
А. Н. Никулин<sup>1</sup>, В. В. Обилец<sup>2</sup>, Г. А. Филиппов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г. Москва. E-mail: iqs12@yandex. ru.

<sup>2</sup> ТОО «АРБЗ», г. Актюбинск, Казахстан

На многофункциональном комплексе физического моделирования «Gleeble» выполнены пластометрические исследования высокотемпературных механических свойств непрерывнолитых заготовок из стали марки Э76Ф двух поставщиков. Выявлено влияние технологических особенностей изготовления заготовок на их механические свойства. По результатам пластометрических исследований установлена оптимальная температура нагрева заготовок, позволяющая обеспечить высокие потребительские свойства готовой продукции. Показано влияние температуры нагрева заготовок на напряженно-деформированное состояние металла, деформационную проработку макроструктуры и качество рельсов.

Ключевые слова: деформация, рельсы, сталь Э76Ф, непрерывнолитая заготовка, механические свойства, температура нагрева, напряженное состояние, качество.

Plastometric studies of high-temperature mechanical properties of continuously cast billets from the E76F steel of two suppliers have been carried out using the multifunctional complex of physical modeling «Gleeble». The influence has been revealed of technological features of billets production on their mechanical properties. According to the results of plastometric studies, the optimum heating temperature of the billets has been established, which allows ensuring high consumer properties of the finished products. The influence of the billets heating temperature has been shown on the stress-strained state of the metal, deformation study of the macrostructure and the rails quality.

Keywords: deformation, rails, E76F steel, continuously cast billet, mechanical properties, heating temperature, state of stress, quality.

УДК: 669.01:620.17-18

## Опыт производства крупногабаритных заготовок из стали 15Х2МФА-А модификация А для корпуса реактора Курской АЭС-2 по проекту ВВЭР-ТОИ

**Г. П. Карзов**<sup>1</sup>, **И. В. Теплухина**<sup>1</sup>, **В. И. Богданов**<sup>1</sup>,  
**А. С. Цветков**<sup>1</sup>, **Т. И. Титова**<sup>2</sup>, **Н. А. Шульган**<sup>2</sup>,  
**Д. В. Ратушев**<sup>2</sup>, **О. Н. Журавлева**<sup>2</sup>,  
**С. Ю. Афанасьев**<sup>3</sup>, **Д. С. Акинин**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> НИЦ “Курчатовский институт” – ЦНИИ КМ “Прометей”, г. Санкт-Петербург, E-mail: a.s.tsvetkow@gmail.com.

<sup>2</sup> ООО “ТК “ОМЗ-Ижора”, г. Санкт-Петербург.

<sup>3</sup> ООО “ОМЗ-Спецсталь”, г. Санкт-Петербург.

Для обеспечения строительства новых энергоблоков Курской АЭС с реакторами проекта ВВЭР-ТОИ на одном из крупнейших российских металлургических заводов “ОМЗ-Спецсталь” внедрена комплексная технология производства крупногабаритных заготовок из усовершенствованной стали марки 15Х2МФА-А мод. А и изготовлен комплект корпусных заготовок для первого блока. Анализ металлургического качества и механических свойств металла показал, что все изготовленные заготовки имеют высокую однородность свойств по всему сечению и требуемое сочетание прочностных характеристик и сопротивления хрупкому разрушению, что в комплексе с высокой стойкостью стали 15Х2МФА-А мод. А к радиационному и тепловому охрупчиванию гарантирует безопасность при эксплуатации корпуса реактора ВВЭР-ТОИ в течение всего срока службы.

Ключевые слов: Курская АЭС-2, ВВЭР-ТОИ, радиационно-стойкая сталь, сопротивление хрупкому разрушению, прочность, микроструктура, металлургическое качество.

To ensure the construction of new power units of the Kursk NPP with VVER-TOI project reactors, at one of the largest Russian metallurgical plants OMZ-Special Steel a complex technology was introduced for the production of large-sized billets from improved steel of the grade 15Kh2MFA-A mod. A set of case blanks for the first block was made. Analysis of the metallurgical quality and mechanical properties showed that all of the manufactured blanks have high uniformity of properties throughout the cross section and the required combination of strength characteristics and brittle fracture resistance, which in combination with high resistance of steel 15Kh2MFA-A mod. A to radiation and thermal embrittlement guarantees safety in the course the operation of the WWER-TOI reactor vessel during its entire service life.

Keywords: Kursk NPP-2, WWER-TOI, radiation-resistant steel, brittle fracture resistance, strength, microstructure, metallurgical quality.

УДК 621.771.294

## **Повышение эффективности деформационной проработки металла непрерывнолитой заготовки при производстве железнодорожных колес**

**М. Е. Гетманова, О. В. Ливанова, Н. О. Ливанова, А. Н. Никулин, Г. А. Филиппов**

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

Перевод изготовления железнодорожных колес с исходной заготовки из слиткового металла на использование непрерывнолитой заготовки без корректировки существующей технологии производства привел к снижению их потребительских свойств. Выполненные пластометрические исследования позволили установить температурные границы перехода транспортного металла из упругопластического состояния в полностью пластическое состояние. Деформация металла в упругопластическом состоянии при более низкой температуре нагрева заготовок, чем принято по существующей технологии производства, позволяет обеспечить изготовление колес в соответствии с нормативными документами. Рассмотрены условия деформации, способствующие повышению механических свойств металлопродукции при снижении температуры нагрева заготовок.

Ключевые слова: железнодорожное колесо, раскатка, обод, деформация, температура нагрева, механические свойства, макроструктура, непрерывнолитая заготовка.

---

The transfer of railway wheels production from the initial preparation from ingot metal to using continuous cast billets without correction of the existing production technology has led to decreasing their consumer properties. The performed plastometric studies allowed establishing the temperature borders for the transition of the transport metal from the elasto-plastic state to the completely plastic state. Deformation of the metal in an elasto-plastic state at billets heating temperature lower, than is accepted at the existing production technology, allows wheels manufacturing in compliance with the normative documents. The deformation conditions are considered, which promote increasing mechanical properties of steel products as the billets heating temperature decreases.

Keywords: railway wheel, expansion, reeling rim, deformation, heating temperature, mechanical properties, macrostructure, continuously cast billet.

УДК 669.15-194. 669.15-194.2

## **Эксплуатационные и технологические свойства сплава ХН62М-ВИ**

**П. А. Харин<sup>1</sup>, Н. Г. Зинченко<sup>1</sup>, Т. М. Медведева<sup>1</sup>,  
А. Ф. Шевакин<sup>2</sup>, А. П. Пантюхин<sup>2</sup>, И. Б. Половов<sup>3</sup>,  
И. В. Кабанов<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> АО “НИИХиммаш”, e-mail: peter@niichimmash.ru, zinchenko@niichimmash.ru, 21-otdel@mail.ru;

<sup>2</sup> ФГУП “ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина”, e-mail: shevakin@bk.ru, kim291287@yandex.ru

<sup>3</sup> ФГАОУ ВО “УрФУ”, e-mail: polovov\_ilya@mail.ru

<sup>4</sup> АО “Металлургический завод “Электросталь”, e-mail: info@elsteel.ru

Проведены исследования по определению влияния длительности выдержки при 550 и 625 °С на механические свойства, ударную вязкость, твердость и структуру сплава со сверхнизким содержанием углерода ХН62М-ВИ (ЭК190-ВИ). Проведены испытания сплава на стойкость против межкристаллитной коррозии (МКК) и коррозионного растрескивания, разработаны технологические рекомендации по сварке и термообработке сварных соединений этого сплава, согласованы технические условия на металлопродукцию из сплава. Установлена возможность применения металлопродукции из сплава ХН62М-ВИ для изготовления оборудования и трубопроводов установок, работающих в расплавах хлоридов  $ZrCl_4$ ,  $HfCl_4$ ,  $KCl$ ,  $AlCl_3$  при температурах 400 – 625 °С.

Ключевые слова: никельхромомолибденовый сплав, межкристаллитная коррозия, механические свойства, ударная вязкость, сварные соединения, твердость, деформация, отжиг.

Studies have been carried out to determine the effect of the long-term keeping at 550 and 625 °C on the mechanical properties, impact strength, hardness and structure of the CrNi62Mo-VI (EC190-VI) alloy with ultralow carbon content. The alloy was tested for resistance to intercrystalline corrosion (ICC) and corrosion cracking, technological recommendations for welding and heat treatment of welded joints of this alloy were developed, specifications for metal products from the alloy were agreed. The possibility was established of using metal products from the CrNi62Mo-VI alloy for the manufacturing equipment and pipelines of the installations, operating in molten chlorides  $ZrCl_4$ ,  $HfCl_4$ ,  $KCl$ ,  $AlCl_3$  at temperatures of 400 – 625 °C.

Keywords: Ni-Cr-Mo alloy, intercrystalline corrosion, mechanical properties, impact strength, welded joints, hardness, deformation, annealing.



УДК 620.193

## **Повышение коррозионной стойкости сталей, предназначенных для эксплуатации в морской воде**

**И. Г. Родионова, А. В. Амежнов, Е. И. Заркова,  
В. И. Иремашвили**

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

Представлены результаты исследования влияния химического состава сталей и их загрязненности неметаллическими включениями на коррозионную стойкость в морских средах. Установлено, что часть требований к сталям повышенной коррозионной стойкости для нефтепромысловых трубопроводов и морских условий совпадает, но есть и существенные отличия. Так к повышению коррозионной стойкости сталей в морских средах приводит снижение содержания углерода, а также легирование никелем. Показана целесообразность разработки требований к сталям, обеспечивающих повышенную коррозионную стойкость в морской воде. Это позволит увеличить сроки безремонтного периода и снизить металлоемкость за счет уменьшения запаса на коррозию сталей, используемых в судостроении.

Ключевые слова: коррозионная стойкость, морские среды, нейтральные водные среды, химический состав сталей, низкоуглеродистые стали, низколегированные стали, неметаллические включения.

The results are presented of investigation into the influence of the chemical composition of steels and their contamination by non-metallic inclusions on the corrosion resistance in marine environments. It has been established that a part of the requirements for steels with increased corrosion resistance for oil-field pipelines and for marine conditions coincides, but there are significant differences. For instance, a decrease in carbon content, as well as alloying with nickel lead to increasing the corrosion resistance of steels in marine environments. The feasibility has been shown of developing requirements for steels that provide increased corrosion resistance in seawater. This will allow to increase the time of the maintenance-free period and reduce the metal consumption by reducing the corrosion reserve of steels used in shipbuilding.

Keywords: corrosion resistance, marine environments, neutral aquatic environments, steels chemical composition, low-carbon steels, low-alloy steels, non-metallic inclusions.

УДК 669.14.018.29.

## Проблемы производства сталей для мостостроения в России

Ю. Д. Морозов<sup>1</sup>, И. Ф. Пемов<sup>1</sup>, Б. Ф. Зинько<sup>1</sup>,  
Н. В. Илюшин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П. Бардина”, г. Москва. E-mail: morosov@chermet.net.

<sup>2</sup> ООО “Мастерская Мостов”, г. Москва

Рассмотрены тенденции развития требований ГОСТ 55374-2012 и СТО 13657842-1-2009 (ОАО “Уральская сталь”) к прокату сталей для мостостроения: атмосферостойкости, пределу текучести, ударной вязкости при температуре до  $-70$  °С, технологической пластичности, свариваемости и сплошности. В отечественном мостостроении применяется прокат с пределом прочности 345 и 390 Н/мм<sup>2</sup>. Развитие мостостроения в России будет связано с созданием сталей класса прочности С590 (по пределу текучести), отвечающем всем требованиям строительства и эксплуатации.

Ключевые слова: требования к прокату, мостовая сталь, атмосферостойкость сопротивление разрушению, прочность, пластичность.

---

The development trends of the requirements of GOST 55374-2012 and STO 13657842-1-2009 (JSC “Ural Steel”) for rolled products of steels for bridge building are considered: resistance to atmosphere, yield strength, impact toughness at temperatures down to  $-70$  °C, technological plasticity, weldability and continuity. In the domestic bridge building, rolled steel products with the tensile strength of 345 and 390 N/mm<sup>2</sup> are used. The development of bridge building in Russia will be associated with the creation of steels of the C590 strength class (yield strength) that meet all the requirements of construction and operation.

Keywords: requirements for rolled products, bridge steel, resistance to atmosphere, resistance to breaking, strength, plasticity.

## Исследование содержания примесей внедрения в IF стали методом внутреннего трения

А. И. Зайцев<sup>1</sup>, И. Г. Родионова<sup>1</sup>, Е. С. Ключева<sup>2</sup>,  
А. В. Колдаев<sup>1</sup>, Д. М. Левин<sup>2</sup>, Г. В. Маркова<sup>2</sup>,  
Б. М. Могутнов<sup>1</sup>, И. А. Краснянская<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина», г. Москва, [aizaitsev1@yandex.ru](mailto:aizaitsev1@yandex.ru)

<sup>2</sup> Тульский государственный университет

Выполнено исследование содержания примесей внедрения методом внутреннего трения в образцах двух типов холоднокатаного проката из IF стали марки DX54D после моделирования разных режимов непрерывного отжига по режимам АНГЦ на универсальном испытательном комплексе Gleeble-3500. Полученные результаты показывают, что во всех исследованных образцах С- и N-пики имеют высоту  $\approx (1 - 2) \cdot 10^{-4}$ , что находится на пределе возможностей измерения. Во всех исследованных образцах концентрация углерода и азота в твердом растворе находится на уровне предела растворимости ( $\approx 1 \cdot 10^{-4}$  масс.%). Общее содержание С и N в образцах, подвергнутых разным режимам отжига, различается незначительно, что не позволяет объяснить существенное различие в найденных значениях предела текучести образцов разных типов. На основании оценок числа центров закрепления дислокаций сделано заключение, что причиной различия значений предела текучести является различная степень закрепления дислокаций в исследованных образцах проката.

Ключевые слова: сверхнизкоуглеродистые стали, IF стали, примеси внедрения, внутреннее трение, механические свойства, закрепление дислокаций.

The internal friction method was applied for investigation of interstitial impurities content in two types samples of cold-rolled products from the DX54D IF steel after simulating various modes of continuous annealing using CHDG modes at the universal test complex Gleeble-3500. The obtained results reveal that C- and N-peaks in all studied samples have a height of  $\approx (1 - 2) \cdot 10^{-4}$ , which is at the limit of measurement capabilities. In the all studied samples carbon and nitrogen concentration in the solid solution is at the level of the solubility limit ( $\approx 1 \cdot 10^{-4}$  wt. pct). The total content of C and N in samples subjected to various modes of annealing differs insignificantly, which does not allow explaining the significant difference in the found values of the yield strength of samples of rolled products of different types. Based on estimation of the number of dislocation anchoring centers, it was concluded that the cause of the difference in yield strength values is the different degree of dislocation anchoring in the rolled stock samples.

Keywords: ultralow-carbon steel, IF steel, interstitial impurities, internal friction, mechanical properties, dislocation anchoring.

УДК: 669.15 26:601:539.67

## **Влияние структурного состояния и микролегирования РЗМ на коррозионную стойкость трип-стали с метастабильным аустенитом**

**А. А. Буржанов, М. П. Галкин, В. В. Гук,  
Е. А. Браницкая, Г. А. Филиппов**

*ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П. Бардина”, г. Москва. E-mail: 1ab@bk.ru*

Исследовано влияние структурного состояния и микролегирования трип-стали 23X15H5CM3Г редкоземельными металлами (РЗМ) на стойкость к общей и питтинговой коррозии. Установлено, что микролегирование уменьшает размер исходного аустенитного зерна. Коррозионная стойкость стали, микролегированной РЗМ, в горячекатаном состоянии при всех условиях испытаний выше, чем стали без микролегирования. Термическая обработка микролегированной стали повышает характеристики сопротивления коррозии, что свидетельствует о значительном влиянии структурного состояния данной стали на развитие процесса коррозии.

Ключевые слова: трип-сталь, РЗМ, аустенит, мартенсит, горячекатаное состояние, закалка, размер зерна, коррозия, питтинг.

---

The influence of the structural state and microalloying of the trip steel 23Cr15Ni5SiMo3Mn with rare-earth metals (REM) has been studied on the resistance to general and pitting corrosion. It has been established that microalloying reduces the size of the initial austenitic grain. Corrosion resistance of the steel, microalloyed with REM, in the hot-rolled state is higher than the steel without microalloying under all test conditions. Heat treatment of microalloyed steel increases the characteristics of corrosion resistance, which indicates considerable influence of the structural state of this steel on the development of the corrosion process.

Keywords: trip-steel, REM, austenite, martensite, hot-rolled state, quenching, grain size, corrosion, pitting.



## Борису Александровичу Сиваку – 70 лет

16 августа 2019 г. исполнилось 70 лет первому заместителю генерального директора АХК ВНИИМЕТМАШ, профессору Борису Александровичу Сиваку.

Получив образование по специальности “Автоматизация металлургического производства” в Московском институте стали и сплавов, он в 1972 г. поступил во ВНИИМЕТМАШ инженером-конструктором. За время работы во ВНИИМЕТМАШе Б.А. Сивак принимал активное участие в автоматизации прокатных станков:

- стана 250/350 Электростальского металлургического завода;
- стана 630 Магнитогорского металлургического комбината;
- стана 1700 Череповецкого металлургического комбината;
- стана 2000 Магнитогорского металлургического комбината.

Он также участвовал в создании кристаллизаторов и узлов машин непрерывного литья заготовок для ряда металлургических заводов России, СНГ и дальнего зарубежья. Б.А. Сивак принимал непосредственное участие в создании орбитальной космической антенны. Награжден медалью им. С.А. Афанасьева Федерации космонавтики России.

В 1981 г. Бориса Александровича переводят в Министерство тяжелого и транспортного машиностроения, где он работает главным специалистом технического управления, помощником министра, а затем заместителем начальника управления делами.

В 1987 г. он назначен заместителем генерального директора ВНИИМЕТМАШ — заместителем директора Межотраслевого научно-технического комплекса “Металлургмаш”. В этой должности Б.А. Сивак отвечал за координацию деятельности 20 организаций 8 министерств СССР по созданию новой техники для металлургического комплекса.

Борис Александрович продолжает научную деятельность и в 1997 г. защищает кандидатскую диссертацию.

В 2005 г. он становится Вице-президентом, а с 2015 г. и Президентом Международного Союза производителей металлургического оборудования “Металлургмаш” и организует взаимодействие ведущих предприятий металлургического машиностроения, профильных Государственных научных центров Российской Федерации, ВУЗов и НИИ при решении комплексных научно-технических задач по созданию новой техники, является членом ряда общественных научных организаций, членом редколлегии журналов “Тяжелое машиностроение”,

“Сталь”, “Металлург”, “Известия ВУЗов. Черная металлургия”, “Проблемы черной металлургии и материаловедения”.

Б.А. Сивак член Президиума Совета Ассоциации ГНЦ РФ, заместитель председателя Комитета по металлургии и тяжелому машиностроению Лиги содействия оборонным предприятиям, член комиссий и рабочих групп при Минпромторге РФ. С 2013 г. он является федеральным экспертом в научно-технической сфере.

Борис Александрович автор более 350 научных трудов, в том числе 9 учебных пособий и монографий, а также 178 изобретений. Он сочетает научную деятельность с преподаванием в течение многих лет в МИСиС и в МГТУ им. Н.Э. Баумана, где преподает и до настоящего времени. В 2008 г. Борису Александровичу присвоено ученое звание профессора.

Б.А. Сивак — почетный машиностроитель, почетный металлург, почетный работник науки и техники РФ, почетный работник промышленности г. Москвы. Он внёс большой вклад в развитие машиностроения в области создания металлургиче-

ских мини-заводов, совершенствования процессов внепечной обработки металла, создания кристаллизаторов для отливки круглых заготовок бесшовных труб. Борис Александрович дважды удостоен премии Правительства Российской Федерации: в 2001 г. за ресурсосберегающую технологию производства кузнечных слитков и поковок на базе автоматизированного проектирования полного технологического цикла, в 2009 г. за разработку комплекса научных и технических решений по созданию и широкому внедрению конструкции и технологии производства гильзовых кристаллизаторов для высокопроизводительных машин непрерывного литья стальных заготовок. Он награжден медалями: “В память 850-летия Москвы”, “300 лет Российскому флоту”, МЧС, а также Почетной грамотой Правительства Москвы.

Коллектив ЦНИИчермет им. И.П.Бардина и редколлегия журнала “Проблемы черной металлургии и материаловедения” сердечно поздравляют Бориса Александровича Сивака с 70-летним юбилеем, желают ему крепкого здоровья, благополучия, новых творческих успехов.