

ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

ISSN 1997-9258

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

Главный редактор:

Семенов В.В., канд. экон. наук

Заместители главного редактора:

Леонтьев Л.И., академик РАН
Могутнов Б.М., д-р хим. наук
Волков А.И., канд. хим. наук

Члены редколлегии:

Алымов М.И., член-корр. РАН
Бабул Т., профессор (Польша)
Бродов А.А., канд. экон. наук
Григорович К.В., академик РАН
Денисов С.Н., д-р экон. наук
Дуб А.В., д-р техн. наук
Еремин Г.Н., канд. техн. наук
Зайцев А.И., д-р физ.-мат. наук
Иевлев В.М., академик РАН
Комлев В.С., член-корр. РАН
Куклев А.В., д-р техн. наук
Левашов Е.А., д-р техн. наук
Морозов Ю.Д., канд. техн. наук
Москвина Т.П., канд. техн. наук
Никулин А.Н., д-р техн. наук
Орыщенко А.С., член-корр. РАН
Петрова Л.Г., д-р техн. наук
Рубаник В.В., член-корр. НАНБ (Беларусь)
Рудской А.И., академик РАН
Родионова И.Г., д-р техн. наук
Скачков О.А.
Смирнов Л.А., академик РАН
Сомерс М.А.Дж., профессор (Дания)
Тихонов А.К., д-р техн. наук
Филиппов Г.А., д-р техн. наук
Филонов М.Р., д-р техн. наук
Флюге В., профессор (Германия)

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

Подписной индекс 58999

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

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство ПИ № ФС77-60022

Выпуск подготовлен
Информационно-издательским центром
ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»:

Руководитель ИИЦ	Е.Х. Иванова
Редактор	И.Я. Паршина
Верстка	М.Л. Красильникова

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: ntpnm@yandex.ru, rhenium@list.ru

ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

СОДЕРЖАНИЕ

2 • 2023

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ МЕТАЛЛУРГИИ

<i>Белоножко С.С., Котельников Г.И., Мурзин И.С., Билан И.Т.</i> Анализ технологии производства трубной стали 25ХГМФА с контролируемым содержанием азота	3
<i>Кожевников А.В., Шалаевский Д.Л., Платонов Ю.В., Смирнов А.С., Корепина К.П., Кожевникова И.А.</i> Исследование влияния параметров асимметричной холодной прокатки стальных полос на износ поверхностей бочек опорных валков рабочих клетей непрерывного стана холодной прокатки	13
<i>Коростелев А.Б., Романовский Г.Ю., Филиппов В.Г., Чевская О.Н.</i> Исследование огнестойкости сверхнизкоуглеродистой мартенситной стали	21
<i>Иванов Ю.Ф., Громов В.Е., Порфирьев М.А., Крюков Р.Е., Шляров В.В., Полевой Е.В.</i> Эволюция тонкой структуры рельсов из заэвтектоидной стали при длительной эксплуатации	27
<i>Третьяков В.А., Филатов А.Н.</i> Разработка цифрового двойника процесса контролируемой прокатки толстого листа из низколегированных высокопрочных сталей. Сообщение 3. Моделирование межфазного и конечного ускоренного охлаждения при термомеханической прокатке с оценкой механических свойств толстого листа и производительности	36

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

<i>Матросов М.Ю., Мишетьян А.Р., Хадеев Г.Е., Сахаров М.С., Каменская Н.И., Чернышов Д.Р.</i> Влияние температуры деформации при термомеханической обработке на микроструктуру аустенита в высокопрочной трубной стали класса прочности К80 (Х100) типа 05Г2МНБ	52
<i>Ролдугина А.С., Рязанов М.В., Парахин В.И.</i> Влияние легирования оловом на свойства зоны внутреннего окисления и характеристики дисперсной фазы в анизотропной электротехнической стали	60

НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

<i>Соснин В.В., Могильников П.С., Колотовкин Н.Ю., Базлов А.И., Малютина Е.С.</i> Закономерности влияния температуры отжига на магнитные и механические свойства аморфных сплавов на основе системы Fe–Co с высокой индукцией насыщения	78
--	----

КОНТРОЛЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА И МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ

<i>Крюков Р.Е., Козырев Н.А., Кибко Н.В., Усольцев А.А., Жуков А.В.</i> Изучение качества наплавленного металла системы Fe–C–Si–Mn–Cr–W–V	86
--	----

ИНФОРМАЦИЯ. ХРОНИКА

Юбилейный саммит «Русская Сталь: Стратегия роста»	95
Шелесту Анатолию Ефимовичу – 90 лет	99

PROBLEMS OF FERROUS METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE

CONTENTS

2 • 2023

PRODUCTION PROCESSES IN METALLURGY

- Belonozhko S.S., Kotelnikov G.I., Murzin I.S., Bilan I.T.*
Analysis of the production technology of 25HGMFA pipe steel with a controlled nitrogen content 3
- Kozhevnikov A.V., Shalaevsky D.L., Platonov Yu.V., Smirnov A.S., Korepin K.P., Kozhevnikova I.A.*
Investigation of the influence of the parameters of asymmetric cold rolling of steel strips on the wear of the surfaces of barrels of back-up rolls in working stands of a continuous cold rolling mill 13
- Korostelev A.B., Romanovsky G.Y., Filippov V.G., Chevskaya O.N.*
Research of fire resistance of the super-low-carbon martensite steel 21
- Ivanov Yu.F., Gromov V.E., Porfiriev M.A., Kryukov R.E., Shlyarov V.V., Polevoy E.V.*
Fine structure evolution of hypereutectoid steel rails after long term operation 27
- Tret'yakov V.A., Filatov A.N.*
Development of a digital twin of the controlled rolling process thick plate of low-alloy high-strength steels. Part 3. Simulation of interphase and final accelerated cooling during thermomechanical rolling with an estimate mechanical properties of thick plate and productivity 36

MATERIALS SCIENCE AND NEW MATERIALS

- Matrosov M.Yu., Mishetyan A.R., Khadeev G.E., Sakharov M.S., Kamenskaya N.I., Chernyshov D.R.*
Effect of Deformation Temperature during TMCP on the Microstructure of Austenite in High-Strength Pipe Steel 05G2MNB Grade X100 52
- Roldugina A.S., Ryazanov M.V., Parakhin V.I.*
Influence of alloying with tin on the properties of the internal oxidation zone and the characteristics of the dispersed phase in anisotropic electrical steel 60

NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGIES

- Sosnin V.V., Mogilnikov P.S., Kolotovkin N.Yu., Bazlov A.I., Malyutina E.S.*
The influence of annealing temperature on magnetic and mechanical properties of Fe-Co-based amorphous alloys with high saturation magnetization 78

CONTROL OF METALLURGICAL MANUFACTURE AND METAL PRODUCTS

- Kryukov R.E., Kozyrev N.A., Kibko N.V., Usoltsev A.A., Zhukov A.V.*
Study of the quality of deposited metal of the Fe-C-Si-Mn-Cr-W-V system 86

INFORMATION

- Anniversary summit "Russian Steel: Growth Strategy" 95
- A. E. Shelest is 90 years old 99

DOI: 10.54826/19979258_2023_2_3
УДК 669.018.294

Анализ технологии производства трубной стали 25ХГМФА с контролируемым содержанием азота

Сергей Сергеевич Белоножко^{1,2}; Георгий Иванович Котельников¹, канд. техн. наук; Игорь Сергеевич Мурзин²; Иван Тарасович Билан^{1,2}

¹ *Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия. E-mail: sergey.belonozhko@tmk-group.com; gikotelnikov@yandex.ru*

² *Таганрогский металлургический завод (АО «ТАГМЕТ»), г. Таганрог, Россия. E-mail: igor.murzin@tmk-group.com; BilanIT@tagmet.ru*

Аннотация. Проведен анализ технологии производства трубных сталей с контролируемым содержанием азота в электросталеплавильном цехе АО «ТАГМЕТ». Выявлены ключевые параметры, оказывающие наиболее существенное влияние на конечное содержание азота в стали в условиях действующего производства.

Ключевые слова: электросталеплавильное производство, сталь, ковшовая металлургия, вакуумирование, вакууматор, дегазация, неметаллические включения, азот в стали, удаление азота

Analysis of the production technology of 25HGMFA pipe steel with a controlled nitrogen content

Sergey S. Belonozhko^{1,2}, Georgiy I. Kotelnikov¹, Igor S. Murzin², Ivan T. Bilan^{1,2}

¹ *National Research Technological University MISiS, Moscow, Russia*

² *Taganrog Metallurgical Plant JSC (TAGMET JSC), Taganrog, Russia*

Abstract. The analysis of the technology for the production of pipe steels with a controlled nitrogen content in the electric steelmaking shop of TAGMET JSC was carried out. The key parameters that have the most significant impact on the final nitrogen content in steel under the conditions of the current production have been identified.

Keywords: electric steelmaking, steel, ladle metallurgy, evacuation, degassing, degassing, non-metallic inclusions, nitrogen in steel, nitrogen removal

DOI: 10.54826/19979258_2023_2_13
УДК 621.771

Исследование влияния параметров асимметричной холодной прокатки стальных полос на износ поверхностей бочек опорных валков рабочих клетей непрерывного стана холодной прокатки

Александр Вячеславович Кожевников, д-р техн. наук, доцент; **Дмитрий Леонидович Шалаевский**, канд. техн. наук, доцент; **Юрий Владимирович Платонов**; **Анатолий Сергеевич Смирнов**; **Кристина Петровна Корепина**; **Ирина Александровна Кожевникова**, д-р техн. наук

ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет», г. Череповец, Россия.

E-mail: avkozhevnikov@chsu.ru; dlshalaevskii@chsu.ru; iuvplatonov@chsu.ru; assmirmov1@chsu.ru; kpkorepina@chsu.ru; iakozhevnikova@chsu.ru

Аннотация. Целью данной работы являлась оценка влияния факторов прокатки, в особенности асимметрии процесса, на величину среднего по ширине значения износа бочки опорного валка стана холодной прокатки.

Методика исследования – моделирование процесса взаимодействия бочек опорного и рабочего валков в среде Deform с использованием модели Аркхарда. Представлен краткий обзор существующих моделей прогнозирования износа поверхностей бочек рабочих и опорных валков. Изучены особенности выработки профиля опорных валков клетки «кварто» в зависимости от разности диаметров верхнего и нижнего рабочих валков. Определена регрессионная зависимость, позволяющая оценивать износ поверхности бочки опорного валка к моменту перевалки рабочих валков. Установлено, что наиболее значимым фактором, влияющим на изнашивание профиля, является средняя величина обжатия в клетке. Фактор асимметрии процесса прокатки практически не оказывает воздействия на износ бочки опорного валка. Последняя отмеченная особенность является научной новизной исследования, которая может быть учтена на этапе подготовки прокатного производства.

Ключевые слова: асимметричная холодная прокатка, износ поверхности бочки опорного валка

Investigation of the influence of the parameters of asymmetric cold rolling of steel strips on the wear of the surfaces of barrels of back-up rolls in working stands of a continuous cold rolling mill

Aleksandr V. Kozhevnikov, Dmitriy L. Shalaevsky, Yuriy V. Platonov, Anatoly S. Smirnov, Kristina P. Korepin, Irina A. Kozhevnikova

Cherepovets State University, 162600, Cherepovets, Russia

Abstract. The purpose of this work was to evaluate the influence of rolling factors, and in particular the asymmetry of the process, on the value of the width-average wear of the back-up roll barrel of a cold rolling mill.

The research methodology is modeling the process of interaction between the barrels of the back-up and work rolls in the Deform environment using the Arkhard model. The paper presents a brief overview of existing models for predicting the wear of the surfaces of barrels of work and backup rolls. Also, the features of the development of the profile of the back-up rolls of the «quarto» stand were studied, depending on the difference in the diameters of the upper and lower work rolls. A regression dependence has been determined, which makes

it possible to assess the wear of the surface of the back-up roll barrel by the time the work rolls are transshipped. It has been established that the most significant factor influencing profile wear is the average reduction in the stand. The asymmetry factor of the rolling process has practically no effect on the wear of the back-up roll barrel. The last noted feature is the scientific novelty of the study, which can be taken into account at the stage of preparing the rolling production.

Keywords: asymmetric cold rolling, wear of the back-up roll barrel surface

Исследование огнестойкости сверхнизкоуглеродистой мартенситной стали

Алексей Борисович Коростелев¹, д-р техн. наук; **Георгий Юрьевич Романовский²**;
Владислав Георгиевич Филиппов²; **Ольга Николаевна Чевская²**

¹ АО «НИКИЭТ» им. Н.А. Доллежаля, Москва, Россия. E-mail: korostelev@nikiet.ru

² ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», Москва, Россия. E-mail: pscenter@gmail.com;
vgfilippov@nikiet.ru; pscenter@gmail.com; igs12@yandex.ru

Аннотация. Исследована огнестойкость новой сверхнизкоуглеродистой мартенситной стали (СНМС) с различным содержанием углерода. Установлено, что исследованная сталь со структурой низкоуглеродистого реечного мартенсита/бейнита обладает удовлетворительной огнестойкостью и характеризуется высокой термической стабильностью микроструктуры и прочностных свойств при температурах до 600 °С. Независимо от содержания углерода (в пределах от 0,025–0,055 %) СНМС обладает огнестойкостью при температурах до 600 °С.

Ключевые слова: сверхнизкоуглеродистая мартенситная сталь, огнестойкость, ударная вязкость, твердость, структура

Research of fire resistance of the super-low-carbon martensite steel

Aleksey B. Korostelev¹, **Georgiy Y. Romanovsky²**, **Vladislav G. Filippov²**, **Ol'ga N. Chevskaya²**

¹ Joint-stock company «NIKJET» of N.A. Dollezhal, Moscow, Russia

² I.P. Bardin Central Research Institute for Ferrous Metallurgy, Moscow, Russia

Abstract. Fire resistance of new super-low-carbon martensite steel (SLCM) with the various carbon contents is investigated. It is established, that the investigated steel with the lath type super-low-carbon martensite/bainite structure possesses satisfactory fire resistance and is characterised by high thermal stability of a microstructure and strength at 600 °C. Irrespective of the carbon content (in limits from 0,025–0,055 %) SLCM possess fire resistance at the temperatures up to 600 °C.

Keywords: super-low-carbon martensite (SLCM) steel, fire resistance, impact strength, hardness, structure

Эволюция тонкой структуры рельсов из заэвтектоидной стали при длительной эксплуатации

Юрий Федорович Иванов¹, д-р физ.-мат. наук; **Виктор Евгеньевич Громов**², д-р физ.-мат. наук; **Михаил Анатольевич Порфирьев**²; **Роман Евгеньевич Крюков**², д-р техн. наук; **Виталий Владиславович Шляров**²; **Егор Владимирович Полевой**³, канд. техн. наук

¹ *Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия. E-mail: yufi55@mail.ru*

² *Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия. E-mail: gromov@physics.sibsiu.ru*

³ *АО «Западно-Сибирский металлургический комбинат», г. Новокузнецк, Россия. E-mail: Egor.Polevoj@evraz.com*

Аннотация. Методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии проведено исследование морфологии структуры и фазового состава, дислокационной субструктуры в головке дифференцированно закаленных рельсов специального назначения ДТ400ИК после длительной эксплуатации (пропущенный тоннаж 187 млн т) на поверхности катания и расстоянии 10 мм от нее по центральной оси. Определены типы дислокационных субструктур и величина скалярной плотности дислокаций. Проанализированы источники внутренних полей напряжений и процессы разрушения пластинчатого перлита.

Ключевые слова: рельсы, тонкая структура, скалярная плотность дислокаций, цементит, разрушение, эксплуатация

Fine structure evolution of hypereutectoid steel rails after long term operation

Yurii F. Ivanov¹, **Victor E. Gromov**², **Michael A. Porfiriev**², **Roman E. Kryukov**², **Vitalii V. Shlyarov**², **Egor V. Polevoy**³

¹ *Institute of High Current Electronics SB RAS, Tomsk, Russia*

² *Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia*

³ *JSC West Siberian Metallurgical Plants, Novokuznetsk, Russia*

Abstract. Transmission electron diffraction microscopy was used to study the morphology of the structure and phase composition, the dislocation substructure in the head of differentially hardened special-purpose rails DT400IK after long-term operation (tonnage passed 187 million tons) on the tread surface and a distance of 10 mm from it along the central axis. The types of dislocation substructures and the value of the scalar density of dislocations are determined. The sources of internal stress fields and the processes of destruction of lamellar perlite are analyzed.

Keywords: rails, fine structure, scalar dislocation density, cementite, fracture, operation

DOI: 10.54826/19979258_2023_2_36

УДК 004.942; 519.876.5; 620.186.5; 621.771.23; 621.771.014

Разработка цифрового двойника процесса контролируемой прокатки толстого листа из низколегированных высокопрочных сталей. Сообщение 3. Моделирование межфазного и конечного ускоренного охлаждения при термомеханической прокатке с оценкой механических свойств толстого листа и производительности

Владимир Аркадьевич Третьяков, д-р техн. наук; Андрей Николаевич Филатов

Липецкий государственный технический университет, г. Липецк, Россия.

E-mail: vladimir.tret'yakov@outlook.com, tva@stu.lipetsk.ru

Аннотация. В работе рассмотрены этапы построения «цифрового двойника» процессов межфазного и конечного ускоренного охлаждения водой при термомеханической прокатке и завершающей термообработке толстого листа. Разработанные 3D-модели охлаждения листа в ванне закаливания и в установке ламинарного струйного охлаждения в линии стана, основанные на численном решении уравнения теплопроводности методом конечных элементов, адаптированы по фактическим измерениям температуры поверхности листа в условиях промышленного производства. Разработаны варианты технологии двух- и трехфазной термомеханической прокатки с межфазным и конечным ускоренным охлаждением листа, позволяющие в 2–2,5 раза увеличить производительность в сравнении с классической низкотемпературной термомеханической прокаткой. Рассчитано распределение механических свойств в сечении по толщине листа после конечного ускоренного охлаждения с учетом замедления кинетики статической рекристаллизации аустенита при термомеханической прокатке в результате межфазного ускоренного охлаждения листа, которые сопоставлены с результатами промышленных испытаний. Применение разработанных технологий ускоренного охлаждения листа при термомеханической прокатке стали химического состава марки S355ML0 позволяет увеличить его прочностные характеристики до категорий качества S420M/ML по EN10025-4:2019.

Ключевые слова: цифровой двойник, термомеханическая прокатка, толстый лист, высокопрочные стали, ускоренное охлаждение, прямая закалка, статическая рекристаллизация, механические свойства, производительность, метод конечных элементов

Development of a digital twin of the controlled rolling process thick plate of low-alloy high-strength steels. Part 3. Simulation of interphase and final accelerated cooling during thermomechanical rolling with an estimate mechanical properties of thick plate and productivity

Vladimir A. Tret'yakov, Andrey N. Filatov

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

Abstract. The paper considers the stages of building a «digital twin» of the processes of interphase and final accelerated water cooling during thermomechanical rolling and final heat treatment of a thick plate. The developed 3D models of plate cooling in the quenching bath and in the laminar jet cooling unit in the mill line, based on the numerical solution of the thermal conductivity equation by the finite

element method, are adapted from actual measurements of the plate surface temperature in industrial production conditions. Variants of the technology of two- and three-phase thermomechanical rolling with interphase and final accelerated cooling of the plate have been developed, allowing a 2–2.5 times increase in productivity in comparison with classical low-temperature thermomechanical rolling. The distributions of mechanical properties in the section along the thickness of the plate after the final accelerated cooling are calculated taking into account the slowing down of the kinetics of static recrystallization of austenite during thermomechanical rolling due to the interphase accelerated cooling of the plate, which are compared with the results of industrial tests. The use of the developed technologies for accelerated cooling of the plate during thermomechanical rolling of steel of the chemical composition of the S355ML0 grade makes it possible to increase its strength characteristics to the quality categories S420M/ML according to EN10025-4:2019.

Keywords: digital twin, thermomechanical rolling, thick plate, high-strength steels, accelerated cooling, direct quenching, static recrystallization, mechanical properties, productivity, finite element method

DOI: 10.54826/19979258_2023_2_52
УДК 669.1.017:620.186.8

Влияние температуры деформации при термомеханической обработке на микроструктуру аустенита в высокопрочной трубной стали класса прочности К80 (X100) типа 05Г2МНБ

Максим Юрьевич Матросов¹, канд. техн. наук; **Анна Рубеновна Мишетьян**¹, канд. техн. наук; **Григорий Евгеньевич Хадеев**², канд. техн. наук; **Максим Сергеевич Сахаров**²; **Нина Иосифовна Каменская**³, канд. техн. наук; **Денис Робертович Чернышов**³

¹ *Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина, Москва, Россия. E-mail: pscenterchermet@gmail.com; mishetyan@bk.ru*

² *АО «Северсталь Менеджмент», г. Череповец, Россия. E-mail: ge.khadeev@severstal.com; mssaharov@severstal.com*

³ *Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия. E-mail: kamenskaya5555@yandex.ru; bmstu47@gmail.com*

Аннотация. Представлены результаты лабораторного эксперимента по влиянию режимов 1-й стадии термомеханической обработки высокопрочной трубной стали типа 05Г2МНБ на размер, форму аустенитного зерна и степень разнотерности структуры высокопрочной трубной стали типа 05Г2МНБ, используемой для производства листового проката класса прочности К80 (X100). Проведено металлографическое исследование микроструктуры аустенита. Определены режимы деформации, способствующие наибольшему измельчению зерна и повышению однородности структуры после предварительной деформации. Эмпирически определена температура торможения рекристаллизации для исследованной стали.

Ключевые слова: высокопрочная трубная сталь, термомеханическая обработка, температуры проведения деформаций, микроструктура, размер зерна аустенита

Effect of Deformation Temperature during TMCP on the Microstructure of Austenite in High-Strength Pipe Steel 05G2MNB Grade X100

Maksim Yu. Matrosov¹, **Anna R. Mishetyan**¹, **Grigoriy E. Khadeev**², **Maksim S. Sakharov**², **Nina I. Kamenskaya**³, **Denis R. Chernyshov**³

¹ *I.P. Bardin Central Research Institute for Ferrous Metallurgy, Moscow, Russia*

² *JSC Severstal Management, Moscow, Russia*

³ *The Bauman Moscow State Technical University, Russia, Moscow*

Abstract. The results of a laboratory experiment on the influence of deformation temperature during the 1st stage of TMCP of high-strength pipe steel 05G2MNB (0,05 % C, 2,0 % Mn, Mo–Ni–Nb) grade X100 on the size, shape of austenite grains, and inhomogeneity of austenite grain size are presented. A metallographic study of the austenite microstructure was carried out. Deformation schedules that contributed most to the refinement of austenite grains, or increased the homogeneity of the structure after preliminary deformation were found out. The recrystallization stop temperature for the investigated steel was empirically determined.

Keywords: high-strength pipe steel, thermo-mechanical controlled process (TMCP), deformation temperatures, microstructure, austenite grain size

Влияние легирования оловом на свойства зоны внутреннего окисления и характеристики дисперсной фазы в анизотропной электротехнической стали

Анна Сергеевна Ролдугина¹; Михаил Владимирович Рязанов¹, канд. техн. наук;
Владимир Иванович Парахин², канд. техн. наук

¹ *Новолипецкий металлургический комбинат, г. Липецк, Россия. E-mail: roldugina_as@nlmk.com*

² *ЦНИИчермет им. И.П. Бардина, Москва, Россия. E-mail: viparahin@chermet.net*

Аннотация. Проведено исследование характеристик зоны внутреннего окисления после обезуглероживания и азотирования при химико-термической обработке в образцах анизотропной электротехнической стали с различным содержанием олова. Выявлено, что олово влияет на величину зоны внутреннего окисления поверхности. Выдвинуты предположения о связи формирования наноразмерных ферритных зерен в приповерхностной зоне (на глубине 100–200 нм от поверхности) с аустенизацией во время обезуглероживания и азотирования. Изучены структура, фазовый и химический состав зоны внутреннего окисления. Получены данные о распределении дисперсной фазы после азотирования.

Ключевые слова: анизотропная электротехническая сталь, зона внутреннего окисления, сегрегация олова, дисперсная фаза

Influence of alloying with tin on the properties of the internal oxidation zone and the characteristics of the dispersed phase in anisotropic electrical steel

Anna S. Roldugina¹, Mikhail V. Ryazanov¹, Vladimir I. Parakhin²

¹ *Novolipetsk Steel PJSC, Lipetsk, Russia*

² *I.P. Bardin TsNIIChermet, Moscow, Russia*

Abstract. The current study deals with the characteristics of the internal oxidation zone formed in the grain-oriented electrical steel after decarburization and nitriding (thermochemical treatment). It is shown that addition of tin influences the depth of the internal oxidation zone. This study also highlights the possible connection between the formation of nano-sized ferrite grains under the surface (100-200 nm deep) and the austenization during the decarburizing and nitriding. The structure and the phase and chemical composition of the internal oxidation zone were investigated. The data about the dispersed phase distribution after nitriding was obtained.

Keywords: grain-oriented electrical steel, internal oxidation zone, tin segregation, dispersed phase

DOI: 10.54826/19979258_2023_2_78
УДК 539.3

Закономерности влияния температуры отжига на магнитные и механические свойства аморфных сплавов на основе системы Fe–Co с высокой индукцией насыщения

Владимир Владимирович Соснин¹, канд. физ.-мат. наук; **Павел Сергеевич Могильников**^{1,2}, канд. физ.-мат. наук; **Николай Юрьевич Колотовкин**^{1,2}; **Андрей Игоревич Базлов**², канд. физ.-мат. наук; **Елена Сергеевна Малютина**², канд. физ.-мат. наук

¹ ФГУП ЦНИИчермет им. И.П. Бардина, Москва, Россия. E-mail: vvsosnin@gmail.com

² НИТУ «МИСИС», Москва, Россия. E-mail: pavel_mog@mail.ru

Аннотация. В работе исследованы образцы аморфной ленты систем $(\text{FeCo})_{82}\text{SiB}$ и $(\text{FeCo})_{82}\text{SiBP}$ при изохронном отжиге. Показано, что максимум индукции насыщения $B_s = 1,9$ Тл в образце $(\text{FeCo})_{82}\text{SiB}$ наблюдается при температуре отжига $T_a = 150$ °С в течение 30 мин, при величине коэрцитивной силы $H_c = 20$ А/м. Для образца $(\text{FeCo})_{82}\text{SiBP}$ максимум $B_s = 2,05$ Тл удалось достичь при температуре отжига $T_a = 100$ °С в течение 30 мин, при величине коэрцитивной силы $H_c = 20$ А/м. Оба сплава при указанных температурах обработки не охрупчиваются, что имеет важное практическое значение. По результатам дифференциальной сканирующей калориметрии показано, что температура кристаллизации T_x образца $(\text{FeCo})_{82}\text{SiB}$ снижается от 430 до 380 °С при легировании фосфором. Установлено, что добавление фосфора приводит к снижению температуры охрупчивания сплава $(\text{FeCo})_{82}\text{SiB}$ от 350 до 250 °С.

Ключевые слова: аморфные сплавы, высокая индукция насыщения, коэрцитивная сила, температура охрупчивания, температура кристаллизации

The influence of annealing temperature on magnetic and mechanical properties of Fe–Co-based amorphous alloys with high saturation magnetization

Vladimir V. Sosnin¹, **Pavel S. Mogilnikov**^{1,2}, **Nikolay Yu. Kolotovkin**^{1,2}, **Andrey I. Bazlov**², **Elena S. Malyutina**²

¹ Government Scientific Centre FGUC «CSRI Chermet of I.P. Bardin», Moscow, Russia

² National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russia

Abstract. In the present study, amorphous ribbons of $(\text{FeCo})_{82}\text{SiB}$ and $(\text{FeCo})_{82}\text{SiBP}$ composition were produced and isochronally annealed. High saturation magnetization B_s of 1,9 T in conjunction with coercivity of 20 A/m were achieved for the $(\text{FeCo})_{82}\text{SiB}$ sample after 30 min annealing at 150 °C. Simultaneously, low coercivity of 20 A/m and high saturation magnetization B_s of 2,05 T were achieved for the $(\text{FeCo})_{82}\text{SiBP}$ sample after 30 min annealing at 100 °C. Both samples remained without embrittlement after 150 °C and 100 °C annealing respectively. According to DSC data analysis, phosphorus addition results in decrease in crystallization temperature T_x of $(\text{FeCo})_{82}\text{SiB}$ from 430 to 380 °C. Likewise, the temperature of embrittlement dropped from 350 to 250 °C.

Keywords: Amorphous alloy, High saturation magnetization, Coercivity, Crystallization temperature, Temperature of embrittlement

DOI: 10.54826/19979258_2023_2_86
УДК 519.237:669.018.25

Изучение качества наплавленного металла системы Fe–C–Si–Mn–Cr–W–V

Роман Евгеньевич Крюков¹, д-р. техн. наук; **Николай Анатольевич Козырев**², д-р техн. наук; **Наталья Валерьевна Кибко**^{1,3}, канд. техн. наук; **Александр Александрович Усольцев**¹, канд. техн. наук; **Андрей Владимирович Жуков**¹

¹ ФГБОУ ВО государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.

E-mail: Rek_nzrmk@mail.ru, a.us@rambler.ru, Svarka42@mail.ru

² ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», Москва, Россия. E-mail: n.kozyrev@chermet.net

³ ЕВРАЗ ЗСМК, Новокузнецк, Россия. E-mail: Krivicheva_nv@mail.ru

Аннотация. Изучено качество металла, полученного с использованием порошковой проволоки системы Fe–C–Si–Mn–Cr–W–V с присадками углеродфторсодержащего материала и титана. В качестве шихты использовали порошок для порошковой проволоки ПП-Нп-35В9ХЗСФ ООО «ПОЛЕМА». В шихту вводили порошок титана марки ТПП-1 ТУ 1791-449-05785388–2010 и углеродфторсодержащий материал (пыль газоочистки алюминиевого производства), состав, масс. %: 21–46 Al₂O₃; 18–27 F; 8–15 Na₂O; 0,4–6 K₂O; 0,7–2,3 CaO; 0,5–2,5 SiO₂; 2,1–3,3 Fe₂O₃; 12,5–30,2 C_{общ}; 0,07–0,9 MnO; 0,06–0,9 MgO; 0,09–0,19 S; 0,10–0,18 P.

Наплавку производили под флюсом, изготовленным из шлака, полученного при производстве силикомарганца с химическим составом, масс. %: 0,50 FeO; 15,16 MnO; 29,13 CaO; 42,40 SiO₂; 6,80 Al₂O₃; 1,39 MgO; 0,18 Na₂O; 0,59 K₂O; 0,28 S; 0,022 P; 0,004 ZnO; 0,024 C; 0,32 F; 0,17 TiO₂; 0,033 Cr₂O₃. После изготовления порошковой проволоки проводили многослойную наплавку металла, которую осуществляли сварочным трактором ASAW-1250 при режиме наплавки: $I = 500$ А, $U = 28$ В, $V_{св} = 15$ см/мин с использованием порошковой проволоки на пластины из стали Ст3.

Исследованы структуры неметаллических включений и некоторые физико-механические свойства (скорость износа и твердость) наплавленного слоя, полученного с использованием порошковых проволок системы Fe–C–Si–Mn–Cr–W–V с порошком титана и углеродфторсодержащего материала. В результате проведенных исследований, были выявлены зависимости твердости наплавленного слоя и скорости его износа от химического состава наплавленного слоя, полученного с использованием изготовленных порошковых проволок. Полученные соотношения могут использоваться для составления прогноза твердости наплавленного слоя и его износостойкости при изменении химического состава наплавленного металла.

Ключевые слова: порошковая проволока, электродуговое покрытие, твердость, скорость износа, химический состав

Study of the quality of deposited metal of the Fe–C–Si–Mn–Cr–W–V system

Roman E. Kryukov¹, **Nikolay A. Kozyrev**², **Natal'ya V. Kibko**^{1,3}, **Aleksandr A. Usoltsev**¹, **Andrey V. Zhukov**¹

¹ Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

² FSUE «TsNIIchermet named after I.P. Bardin», Moscow, Russia

³ EVRAZ ZSMK, Novokuznetsk, Russia

Abstract. The quality of the metal obtained using the flux-cored wire of the Fe–C–Si–Mn–Cr–W–V system with additives of carbon-fluorine-containing material and titanium was studied. Powder for flux-cored wire PP-NP-35V9X3SF of POLEMA LLC was used as a charge.

Titanium powder of the TPP-1 brand TU 1791-449-05785388–2010 and carbon-fluorine-containing material (gas cleaning dust of aluminum production) were introduced into the charge, composition, wt. %: 21–46 Al₂O₃; 18–27 F; 8–15 Na₂O; 0,4–6 K₂O; 0,7–2,3 CaO; 0,5–2,5 SiO₂; 2,1–3,3 Fe₂O₃; 12,5–30,2 Total; 0,07–0,9 MnO; 0,06–0,9 MgO; 0,09–0,19 S; 0,10–0,18 P.

Surfacing was carried out under a flux made from slag obtained during the production of silicomanganese with a chemical composition, wt. %: 0,50 FeO; 15,16 MnO; 29,13 CaO; 42,40 SiO₂; 6,80 Al₂O₃; 1,39 MgO; 0,18 Na₂O; 0,59 K₂O; 0,28 S; 0,022 P; 0,004 ZnO; 0,024 C; 0,32 F; 0,17 TiO₂; 0,033 Cr₂O₃. After the manufacture of flux-cored wire, multilayer metal surfacing was carried out. Surfacing was carried out by an ASAW-1250 welding tractor in the surfacing mode: $I = 500$ A, $U = 28$ B, $V_{sv} = 15$ cm/min using flux-cored wire on plates made of St3 steel.

The structures, non-metallic inclusions and some physical and mechanical properties (wear rate and hardness) of the deposited layer obtained using flux-cored wires of the Fe–C–Si–Mn–Cr–W–V system with titanium powder and carbonfluorine-containing material are investigated. As a result of the research, the dependences of the hardness of the deposited layer and the rate of its wear on the chemical composition of the deposited layer obtained using the manufactured flux-cored wires were revealed. The obtained ratios can be used to predict the hardness of the deposited layer and its wear resistance when the chemical composition of the deposited metal changes.

Keywords: flux-cored wire, electric arc coating, hardness, wear rate, chemical composition

Юбилейный саммит «Русская Сталь: Стратегия роста»

6–7 июня 2023 года в Москве прошло ведущее отраслевое мероприятие – юбилейный 20-й металлургический саммит «Русская Сталь: Стратегия роста». Его организатором выступил журнал «Металлы Евразии» при поддержке Ассоциации «Русская Сталь». Ключевая тема саммита – снижение негативных последствий санкционного давления, а также меры, которые принимают отечественные компании и государство для его преодоления. Как отметили участники саммита, после спада в 2022 г. производство стали в России восстановилось. По итогам первых четырех месяцев текущего года достигнуто возвращение к прошлогодним показателям. Рост по итогам всего 2023 г. может составить от 2 до 5 %.

Основные темы дискуссий – проблемы, задачи и этапы реализации стратегии развития металлургической отрасли до 2030 года, меры поддержки и импортозамещение, межотраслевое взаимодействие и драйверы российского рынка потребления стали.

В саммите приняли участие более 180 руководителей и специалистов металлургических и машиностроительных предприятий, представители федеральных органов власти. Приветственное обращение к участникам саммита направил *Алексей Мордашов* – Председатель Совета директоров компании «Северсталь», президент Ассоциации «Русская Сталь». В приветствии отмечено, что отрасли удалось преодолеть первый шок от тех беспрецедентных ограничений, в условиях которых приходится работать последние полтора года: «Нам предстоит бороться за нашу конкурентоспособность, эффективно реализовать стратегии развития, импортозамещение технологий и оборудования, от которых мы оказались отрезаны, чтобы поддержать высокий уровень технологической оснащенности, инновационности и развивать научно-технический потенциал отрасли».

На саммите работали четыре сессии по разным направлениям.

Первая сессия была посвящена корпоративным практикам. Обсуждали как компании-лидеры адаптируются к новым условиям. Модератором выступил *Алексей Сентюрин*, исполнительный директор Ассоциации «Русская Сталь». Был рассмотрен опыт и приоритеты компании «Северсталь» в текущих условиях. С докладом выступил *Дмитрий Максимов*, директор по маркетингу ПАО «Северсталь». Начальник управления маркетинга и технической поддержки ПАО «ММК» *Денис Черненко* рассказал о расширении продуктовой линейки ММК и его вкладе в развитие российского автопрома. Директор по развитию бизнеса компании ООО «ЕВРАЗ» *Роман Рожнов* представил инструменты и решения для поддержки стального строительства в России. *Борис Сивак*, президент Международного союза «Металлургмаш» рассказал об успехах и проблемах импортозамещения. Совершенствованию производства и поставок трубной продукции с учетом перспективных проектов было посвящено выступление директора по глобальному и стратегическому маркетингу ПАО «ТМК» *Сергея Алексева*. Тенденции развития в области коксохимии и огнеупоров Китая представил *Чжан Жэньхань*, коммерческий директор, генеральный представитель в России ACRE Coking & Refractory Engineering Consulting Corporation, MCC.





Вторая сессия – «Стратегии-2030: основные задачи текущего момента и ориентиры для отрасли на перспективу». С ключевыми докладами выступили: *Виктор Евтухов*, статс-секретарь – заместитель Министра промышленности и торговли РФ, *Евгений Зубицкий*, президент ООО УК «ПМХ», член Наблюдательного совета Ассоциации «Русская Сталь», *Алексей Канаев* – депутат Государственной Думы ФС РФ, председатель Экспертного совета по металлургической промышленности, тяжелому машиностроению и горнорудной промышленности при Государственной Думе, *Владимир Калинин* – директор Департамента градостроительной деятельности и архитектуры Минстроя России, *Назим Эфендиев* – генеральный директор ООО УК «МЕТАЛЛОИНВЕСТ», *Антонелло Колусси* – вице-президент, член правления Итало-Российской Торговой Палаты, *Виктор Семенов* – генеральный директор ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И. П. Бардина», советник Министра промышленности и торговли РФ, *Алишер Таджиев* – Председатель Совета Общественного объединения «Ассоциация предприятий строительной индустрии Таджикистана».

Модератор: *Андрей Леонов*, вице-президент, председатель Управляющего Комитета Ассоциации «Русская Сталь», директор по взаимодействию с органами государственной власти АО «Северсталь Менеджмент».

На этой сессии основные темы дискуссии:

- Стратегия-2030: проблемы, задачи и этапы реализации.

- Государственные приоритеты: какие направления, сферы, проекты получают государственную поддержку и в какой форме она будет оказываться.

- Структурный маневр черной металлургии с выходом на новую сбалансированность.

- Импортозамещение: комплексный подход и межотраслевое взаимодействие.

- Драйверы российского рынка: оценка ситуации в основных секторах потребления стали.

- Экспорт и присутствие в мире: как сохранить конкурентоспособность на глобальном уровне.

Итогом второй сессии стало подписание меморандума между Ассоциацией «Русская Сталь» и Общественным объединением «Ассоциация предприятий строительной индустрии Таджикистана».

Во время **третьей сессии** обсуждалось взаимодействие с партнерами: проблемы и решения. Модератором выступил *Павел Иванкин*, президент Национального исследовательского центра перевозок и инфраструктуры. Темы обсуждения:

- транспортно-логистический маневр и его результаты для металлургии;

- отечественный опыт инжиниринга: от локальных задач до комплексных решений под ключ;

- сырьевое обеспечение производства: старые проблемы и новые вызовы;

– предложения АРСС по расширению применения металла в гражданском строительстве;

– фокус на клиента; сервис для потребителя в новых условиях;

– российские инновации для экологических решений и поддержания устойчивого развития в металлургии.

С докладами выступили: *Александр Данилов* – генеральный директор Ассоциации развития стального строительства; *Андрей Грачев* – старший вице-президент ГК «Мет-Пром»; *Олег Масленников* – управляющий директор ООО «Корпорация Исток»; *Григорий Щуров* – директор ООО «Торговый дом ММК»; *Евгений Широков* – заместитель генерального директора и *Светлана Бут* – руководитель направления «Металлургия и горная добыча НПО «БиоМикроГели».

Приоритеты российской коксохимической промышленности в новых условиях обозначил управляющий директор АО «ВУХИН» *Аркадий Давыдович Стерн*. Он отметил, что перед отраслью стоят задачи: расширение сырьевой базы коксования; повышение качества подготовки шихты; совершенствование технологий коксования, улавливания и переработки ХПК; очистка выбросов; очистка сточных вод; утилизация отходов; совершенствование конструкции основного оборудования; автоматизация процессов; промышленная безопасность; энергоэффективность и др. В своем выступлении А. Д. Стерн сказал, что главной проблемой в настоящее время является высокая изношенность коксовых батарей. Старый печной фонд не позволяет работать на проектной мощности. Необходимо проведение серьезных ремонтов кладки или перекладка коксовых батарей. Для более квалифицированной оценки состояния печного фонда заводов России необходима актуализация данных в рамках возрождения общероссийской коксохимстанции. В презентации были предложены некоторые решения стоящих перед отраслью задач, например, экологический инжиниринг, который включает в себя инвентаризацию, обследование; технологические нормативы; разработку решений; оценку качества очистки; повышение производительности очистных сооружений; проек-

тирование очистных сооружений и устройств; программы повышения экологической эффективности; мероприятия по охране окружающей среды; оценку воздействия на окружающую среду; программы производственно-экологического контроля.

На **четвертой сессии** обсуждались важнейшие для отрасли вопросы – это кадры для металлургии будущего. Представлены доклады: «Новое в системах профориентации»; «Профессионалитет: первое знакомство и проверка на практике»; «Обучение и подготовка специалистов, развитие корпоративных университетов: их место и роль в системе специального образования»; «Модель «Лидеры учат лидеров»: опыт корпоративного университета НЛМК, с кем и как взаимодействовать в организации обучения специалистов-коксохимиков»; «Подготовка инженерных кадров для металлургии: практика МГТУ им. Г. И. Носова»; «Непрерывное образование специалистов металлургической отрасли: тренды и вызовы».

В обсуждении приняли участие *Валерий Колокольцев* – президент МГТУ им. Г. И. Носова (Магнитогорск); *Ольга Родькина* – заместитель исполнительного директора Корпоративного университета ТМК2U; *Аркадий Стерн* – управляющий директор АО «ВУХИН»; *Дмитрий Еланский* – доцент, заведующий кафедрой Выксунского филиала НИТУ МИСиС; *Юлия Демина* – начальник управления профессионального обучения и работы с молодежью АО «ОМК»; *Полина Колесова* – директор Корпоративного университета ПАО «НЛМК»; *Елена Ильина* – директор Центра переподготовки и повышения квалификации ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И. П. Бардина».

7 июня участники саммита посетили ЦНИИчермет им. И. П. Бардина, где прошло заседание комитета по металлургии и тяжелому машиностроению, на котором рассматривались инновационные решения металлургической науки для реализации Стратегии-2030. В работе мероприятия приняли участие представители Минпромторга России, Государственной Думы и отраслевых объединений и предприятий.



Выступая на заседании со вступительным словом, председатель Комитета по металлургии и тяжелому машиностроению, генеральный директор ФГУП «ЦНИИчермет им. И. П. Бардина» *В. В. Семенов* призвал объединить потенциал и компетенции производства и науки для решения задач, стоящих перед отраслью и страной, а также активно развивать новые компетенции. По его словам, сегодня Институт как ведущий отраслевой научный центр черной металлургии работает комплексно и ориентирован на конкретный результат: разрабатывает совместно с производителями и потребителями межотраслевые программы для различных отраслей промышленности, создает востребованные новые сплавы и материалы и активно развивает научно-инжиниринговое направление.

В своем обращении к участникам заседания депутат Государственной Думы, председатель Экспертного совета по вопросам металлургической и горнорудной промышленности *А. В. Канаев* рассказал о необходимости развивать внутреннее потребление металлопродукции и призвал находить решения, которые позволяют масштабировать собственное производство необходимых для металлургов агрегатов. Ключевая задача – опережающее развитие отрасли.

Представитель Минпромторга России описал ход работы по разработке плана мероприятий по реализации Стратегии-2030, он также заявил о необходимости увеличить темпы внутреннего спроса на металлопродукцию, в т.ч. за счет развития строительной сферы. Кроме того, спикер отдельно остановился на оперативных мерах таможенного регулирования и обсудил с металлургами вопросы

по работе в Государственной информационной системе промышленности.

О текущей ситуации и основных тенденциях в российской черной металлургии рассказал исполнительный директор Ассоциации «Русская Сталь» *А. В. Сентюрин*. Докладчик отметил, что сегодня проводится работа по увеличению потребления стали внутри страны, а также заявил о необходимости импортозамещения некоторых востребованных марок стали. Алексей Владимирович также призвал научные и производственные предприятия работать сообща над решением актуальных для отрасли задач.

Первый заместитель генерального директора ЦНИИчермет им. И. П. Бардина *Г. Н. Еремин* представил презентацию межотраслевых программ, инициированных Институтом для основных металлопотребляющих отраслей. Из девяти программ четыре утверждены и уже реализуются: для автопрома, железнодорожного транспорта, медицинской промышленности и сельскохозяйственного машиностроения. Остальные – на стадии согласования. Спикер также рассказал о том, как обеспечить базовые металлопотребляющие отрасли новыми перспективными металлургическими материалами.

С сообщением о получении металла экологически чистым способом выступил директор по исследованиям и развитию ООО НП «Вулкан-ТМ» *С. Г. Мурат*. Этот процесс отличается нулевым потреблением углерода, поскольку исходным восстановителем служит древесный уголь из быстрорастущих деревьев, выращиваемых специально для металлургических целей.

Для участников заседания была проведена экскурсия по экспериментальному производственному комплексу Института, показаны цехи горячей и холодной прокатки. Гостям ЦНИИчермет также представили экспозицию с металлургическими разработками для различных отраслей промышленности.



Анатолию Ефимовичу ШЕЛЕСТУ – 90 лет

6 августа 2023 г. исполняется 90 лет **Анатолию Ефимовичу Шелесту** – известному ученому РФ в области прокатного производства и обработки металлов давлением, доктору технических наук, профессору, ведущему научному сотруднику Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук.

Анатолий Ефимович родился в 1933 г. в городе Сталино (ныне Донецк). В 1935 г. вместе с родителями переехал в город Запорожье. Во время Великой отечественной войны был в эвакуации, а затем вернулся в Запорожье, где в 1950 г. окончил школу и затем поступил в Московский институт стали на технологический факультет. В 1955 г. Анатолий Ефимович окончил с отличием Московский институт стали и сплавов по специальности «обработка металлов давлением (прокатка черных металлов и сплавов)», и был принят в аспирантуру. В 1958 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование некоторых условий горячей прокатки титана и его сплавов».

С 1 февраля 1958 г. работает в Институте металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук.

В 1963 г. А.Е. Шелест поступил в Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, который закончил

в 1967 г. по специальности «математика». В 1966 г. ему в составе группы ученых и специалистов была присуждена Ленинская премия за создание технологии и организацию производства деформированных полуфабрикатов из титановых сплавов.

В 1977 г. Анатолий Ефимович защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук на тему «Экспериментальные и теоретические исследования процесса прокатки титановых сплавов» по специальности ОМД.

А.Е. Шелест – признанный специалист в области теории и технологии обработки металлов давлением. Им поставлены и решены важные теоретические задачи и выполнены обширные экспериментальные исследования в области обработки давлением и термомеханической обработки титановых сплавов, особенностей напряженного состояния и температурных условий деформации материалов с неравномерными свойствами, условий обработки давлением и формирования структуры и свойств хромомарганцевой стали со сверхравновесным содержанием азота, разработки и опробования сортовой прокатки порошков быстрорежущей стали, изучения процесса непрерывного безоправочного редуцирования электросварных труб, совершенствования методов аналитического определения параметров технологических процессов обработки давлением металлических материалов, изучения закономерностей изменения свойств металлических материалов при пластической деформации по сложным схемам напряженно-деформированного состояния.

В последние годы Анатолием Ефимовичем внесен существенный вклад в изучение влияния знакопеременной холодной деформации на свойства металлов и сплавов. В экспериментальных и теоретических работах А.Е. Шелест широко использует современные методы физического и математического моделирования процессов обработки металлов давлением. Благодаря его активной работе в ИМЕТ РАН было создано научное направление, использующее математические методы и вычислительную технику в научных исследованиях.

В 1981 г. А.Е. Шелест удостоен премии Болгарской академии наук и Софийского университета в области прикладных и технических наук за совместную с Болгарской академией наук работу по производству листовой стали со сверхравновесным содержанием азота.

С 1983 г. до недавнего времени А.Е. Шелест занимался преподавательской деятельностью, работая по совместительству профессором кафедры технологии обработки давлением МАТИ (МАИ). Многие годы он возглавлял государственные аттестационные

комиссии в МИСИ и МАТИ. Им разработаны оригинальные лекционные курсы «Физико-математическое моделирование процессов обработки металлов давлением», «Метрология, стандартизация, сертификация», «Управление качеством».

Большую научную и педагогическую работу А.Е. Шелест успешно сочетает с общественной деятельностью. Он является членом редколлегии журнала «Металлы», избран действительным членом (академиком) Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского. Он награжден знаком «Изобретатель СССР» и медалями им. К.Э. Циолковского и С.П. Королева Федерации космонавтики России. Более двадцати лет Анатолий Ефимович проработал ученым секретарем диссертационного совета при ИМЕТ РАН.

Результаты научных исследований и технологических разработок А.Е. Шелеста отражены в более чем 300 опубликованных работах, в т.ч. 10 авторских свидетельств и 11 научно-методических пособиях по прикладной математике и программированию на ЭВМ.

Редакционная коллегия журнала «Проблемы черной металлургии и материаловедения» поздравляет А.Е. Шелеста с 90-летием!

Желаем Анатолию Ефимовичу дальнейшей плодотворной научной работы, здоровья и долгих лет жизни.