

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

УДК 621.78 + 669.046

ВЕДЕНЕЕВ
Александр Владимирович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕТИЗНОЙ ПРОДУКЦИИ ИЗ СТАЛЬНОЙ
КАТАНКИ**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальностям
05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов;
05.16.01 – Metallоведение и термическая обработка металлов и
сплавов

Минск, 2010

Репозиторий БНТУ

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете.

Научный руководитель: **Чичко Александр Николаевич**,
доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры «Машины и технология литейного производства» Белорусского национального технического университета.

Официальные оппоненты: **Калиниченко Александр Сергеевич**,
доктор технических наук, заместитель проректора по научно-исследовательской части Белорусского национального технического университета;

Гарост Александр Иванович,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры материаловедения и технологии металлов Белорусского государственного технологического университета.

Оппонирующая организация: Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого.

Защита состоится «18» января 2011 г. в 14⁰⁰ на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.14 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, Минск, проспект Независимости, 65, корп. 12, ауд. 310, тел.(факс) ученого секретаря (017) 292-54-06.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «10» декабря 2010 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций,
доктор технических наук, профессор

И.А. Трусова

© Веденеев А.В, 2010

© БНТУ, 2010

Репозиторий БНТУ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Введение

Известно, что свойства метизной продукции зависят от всех стадий металлургического передела «шихта → расплав → слиток → катанка → метизная продукция». В условиях заданной технологии получения стали в дуговых сталеплавильных печах свойства метизной продукции зависят от качества получаемой катанки. В настоящее время не решен ряд теоретических и практических задач метизного производства, от которых зависит качество стальной проволоки. В частности, существующие методики по комплексной оценке свойств метизной продукции далеко не всегда удовлетворяют потребности металлургического производства. Малоизучен вопрос по установлению количественных взаимосвязей между характеристиками микроструктуры катанки и дефектом «расслой», образующимся в стальной проволоке. Во многом не изучено влияние дисперсности перлита катанки на степень расслоения стальной проволоки.

Диссертация направлена на решение задач металлургического производства, связанных с разработкой методов совершенствования технологии изготовления бронзированной бортовой проволоки, на основе установления взаимосвязей между свойствами продукции метизного производства и характеристиками технологии изготовления катанки.

Связь работы с крупными научными программами и темами. Тематика диссертации соответствует приоритетным направлениям согласно пункту 6.3 «Перечня приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2005–2010 гг., утвержденному Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 17 мая 2005 г. № 512. В частности, диссертационная работа выполнялась в рамках ГППНИ «Металлургия» 2006–2009 гг.: «Разработка статистических моделей для совершенствования технологических процессов различных переделов металлургического производства» (задание 1.34).

Цель и задачи исследования – совершенствование технологии изготовления метизной продукции из стальной катанки. Для реализации цели были решены следующие задачи:

- исследованы корреляционные взаимосвязи между свойствами метизной продукции в виде стальной проволоки и свойствами катанки;

- исследованы взаимосвязи между характеристиками микроструктуры перлита катанки и технологическими режимами изготовления метизной продукции, получаемой из катанки;

- исследованы статистические распределения технологических режимов получения метизной продукции из катанки, определяющие образование дефекта «расслой» в бортовой бронзированной проволоке, изготавливаемой на РУП «Белорусский металлургический завод» (БМЗ);

- разработаны методики для оценки показателей качества метизной продукции, основанные на измерении сложных деформаций проволок, производимых из стальной катанки;

- в условиях промышленного производства РУП «БМЗ» предложены режимы технологии изготовления бортовой бронзированной проволоки, позволяющие снизить склонность проволоки к образованию дефекта «расслой».

Объектом исследования является технология изготовления бортовой бронзированной проволоки из стальной катанки.

Предметом исследования являются методы совершенствования технологических процессов, используемые при изготовлении метизной продукции из стальной катанки.

Методы исследования. В работе использованы экспериментальный и статистический методы обработки данных.

Положения, выносимые на защиту

1. Установлено, что в условиях заданных границ изменения технологических параметров на следующих стадиях металлургического периода «шихта → расплав → слиток → катанка → метизная продукция» на формирование дефекта «расслой» в бортовой бронзированной проволоке оказывают влияние высокодисперсные области перлита катанки. Причиной образования высокодисперсных областей перлита в микроструктуре катанки является чередование нагрева и охлаждения стали при прокатке и на этапе «катанка → метизная продукция» в процессе получения проволоки, что оказывает влияние на образование остаточных напряжений, и как следствие, на образование дефекта «расслой» в стальной проволоке.

2. На характеристики микроструктуры катанки, изготавливаемой в процессе прокатки, оказывают влияние следующие технологические параметры: «среднее значение степени открытия клапанов зон водян-

ного охлаждения», «скорость проката в редуционно-калибровочном блоке», «среднее значение скорости проката на проволочном блоке «Моргана»», «температура катанки на виткообразователе», «температура катанки перед редуционно-калибровочным блоком», «температура заготовки перед первой клетью», что показано на основе исследованных взаимосвязей «параметры технологии стана «150» – характеристики межпластиночных расстояний перлита» и что было использовано в метизном производстве для уточнения границ изменения перечисленных параметров с целью снижения вероятности образования расслоя в бортовой бронзированной проволоке.

3. Методики для определения показателей качества метизной продукции, отличающиеся от известных измерением деформационных характеристик при задании нагрузок в трех направлениях, позволяющие одновременно определять свойства стальной проволоки (предел прочности, предел текучести, максимальное разрывное усилие) в условиях сложной деформации при заданных входных параметрах деформационного нагружения витой структуры с учетом шага свивки, диаметра стержня, диаметра проволоки, прикладываемой нагрузки, степени подкручивания.

Личный вклад соискателя. Основные результаты, выносимые на защиту диссертации, получены автором лично. В частности, автор выполнил экспериментальные и теоретические исследования по технологическим режимам процесса изготовления метизной продукции и разработал изменения к технологическим инструкциям ТИ 840-ПЗ-01-2007 по изготовлению катанки с повышенным уровнем механических свойств. Предложил методики оценки расслоения бортовой бронзированной проволоки на основе статистических распределений перлита катанки. Внедрил в исследовательском центре метизного производства РУП «БМЗ» комплексные методики оценки показателей качества метизной продукции.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на II международной научно-технической конференции молодых специалистов «Металл-2001» (г. Жлобин, 10 ноября 2001 г.), на восьмой научно-практической конференции «Резиновая промышленность: сырье, материалы, технология» (г. Москва, 14–18 мая, 2001 г.), на международной научно-технической конференции, посвященной 20-летию РУП «БМЗ» «Металлургия XXI века» (г. Жлобин,

10–11 июня, 2004 г.), на семнадцатом симпозиуме «Проблемы шин и резинокордных композитов» (г. Москва, 16–20 октября 2006 г.).

Опубликованность результатов диссертации. По основным положениям и результатам выполненных исследований опубликована 21 печатная работа. Из них 8 статей опубликовано в научно-технических журналах, 5 тезисов докладов на международных конференциях (общее количество страниц составляет 3,9 авторского листа). Получено 7 патентов и одно авторское свидетельство на программный продукт.

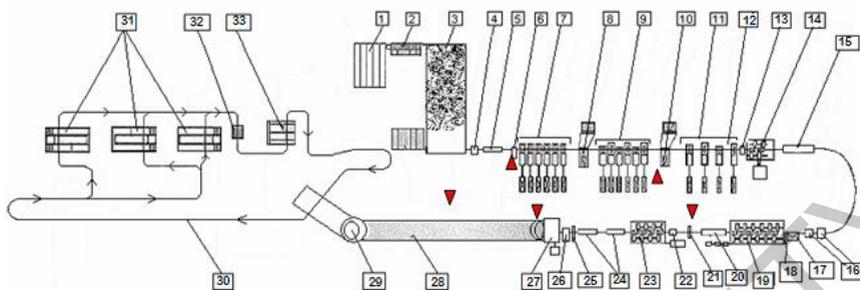
Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, списка использованных источников и трех приложений. Полный объем диссертации составляет 135 страниц, включая 77 рисунков, 19 таблиц, список использованных источников из 138 наименований и приложений на 20 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проведен литературный анализ по технологиям изготовления метизной продукции в металлургическом производстве. Сформулированы цель и задачи работы.

На рисунке 1 представлена укрупненная схема оборудования стана «150» (технологическая цепочка РУП «БМЗ»), на основе которой проводились основные исследования.

Прокатный стан «150» оборудован методической нагревательной печью с боковым и фронтальным расположением горелок, с шагающим водоохлаждаемым подом с кантовкой заготовок в подогревательной зоне печи (3). Нагретая до температуры прокатки (не менее 950 °С) заготовка выдается из печи. С помощью гидросбива (4) с поверхности заготовки снимается образовавшаяся при нагреве окалина. Контроль температуры нагрева заготовок осуществляется пирометром, установленным перед 1-й клетью.



▼ – места замера температуры проката

- 1 – загрузочная решетка; 2 – весы для взвешивания заготовок;
 3 – нагревательная печь (учет факторов T_1, T_3); 4 – установка удаления печной окалины;
 5 – терморольганг; 6 – трайбаппарат; 7 – черновая группа клетей (учет фактора T_4);
 8 – ротационные ножницы; 9 – первая промежуточная группа клетей;
 10 – ротационные ножницы; 11 – вторая промежуточная группа клетей с вертикальным петлерегулятором; 12 – вертикальный петлерегулятор;
 13 – разрывные ножницы; 14 – двухклетьевого блок;
 15 – секция №1 водяного охлаждения после двухклетьевого блока (учет фактора T_9);
 16 – ротационные крошительные ножницы; 17 – горизонтальный петлерегулятор;
 18 – разрывные ножницы; 19 – десятиклетьевого проволочный блок (учет факторов T_5, T_8);
 20 – секция №2 водяного охлаждения за проволочным блоком (учет фактора T_{10});
 21, 25 – бесконтактный измеритель геометрии; 22 – разрывные ножницы;
 23 – четырехклетьевого редуционно-калибровочный блок (учет факторов T_2, T_6);
 24 – секции №3.1 и 3.2 водяного охлаждения (учет факторов T_{11}, T_{12});
 26 – трайбаппарат; 27 – виткообразователь (учет фактора T_7);
 28 – рольганг линии «Стельмора» для воздушного охлаждения витков катанки (учет факторов T_{13}, \dots, T_{20}); 29 – камера образования мотков – «Бунтоприемник»;
 30 – крюковой конвейер; 31 – пресссвязальные машины; 32 – весы для взвешивания мотков;
 33 – станция разгрузки мотков

Рисунок 1 – Схема расположения основного технологического оборудования стана «150»

Дальнейшая прокатка проводится в черновой (7), первой (9) и второй (11) промежуточных группах клетей, двухклетьевого блоке (14), проволочном блоке (19) и редуционно-калибровочном блоке (23). Регулирование температуры раската производится перед проволочным блоком и двухстадийной системой термоупрочнения катанки

ки, состоящей из одной секции водяного охлаждения (20) после проволочного блока (19) и двух секций водяного охлаждения (24) после редуционно-калибровочного блока (23). Линия воздушного охлаждения состоит из рольганга (28) и системы подачи воздуха вентиляторами для охлаждения катанки после виткообразователя (27) (система охлаждения «Стельмор»).

В качестве технологических факторов, использованных в исследовании, были выбраны следующие характеристики: T_1 – «Время нагрева заготовки в печи», T_2 – «Скорость проката в редуционно-калибровочном блоке (РКБ)», T_3 – «Температура в печи», T_4 – «Температура заготовки перед первой клетью», T_5 – «Температура заготовки перед проволочным блоком «Моргана»», T_6 – «Температура катанки перед РКБ», T_7 – «Температура катанки на виткообразователе», T_8 – «Среднее значение скорости проката на проволочном блоке «Моргана»», T_9 – «Среднее значение степени открытия клапанов водяного охлаждения зоны 1», T_{10} – «Среднее значение степени открытия клапанов водяного охлаждения зоны 2», T_{11} – «Среднее значение степени открытия клапанов водяного охлаждения зоны 3.1», T_{12} – «Среднее значение степени открытия клапанов водяного охлаждения зоны 3.2», T_{13} – «Скорость катанки на входе в «Стельмор»», T_{14} – «Скорость катанки в секции 1 «Стельмора»», T_{15} – «Скорость катанки в секции 6 «Стельмора»», T_{16} – «Скорость катанки в секции 11 «Стельмора»», T_{17} – «Скорость катанки в секции 16 «Стельмора»», T_{18} – «Скорость движения цепи», T_{19} – «Степень открытия клапанов вентиляторов «Стельмора» (F1)», T_{20} – «Степень открытия клапанов вентиляторов «Стельмора» (F2)».

Вторая глава посвящена исследованию взаимосвязей между свойствами бортовой бронзированной проволоки и свойствами катанки, используемой для изготовления метизной продукции в условиях РУП «БМЗ». На основе промышленных данных РУП «БМЗ» показаны корреляционные взаимосвязи между характеристиками стальной катанки и свойствами изготавливаемой из нее проволоки, что свидетельствует о наследовании стальной проволокой свойств и микроструктуры катанки. В частности, исследованы корреляционные взаимосвязи между числом скручиваний проволоки и характеристиками проволоки (величина расслоя, разрывное усилие, относительное удлинение, относительное сужение), а также характеристиками катанки (содержание углерода, предел прочности при растяжении, относительное сужение, относительное удлинение). Показано, что чем выше число скручиваний в бортовой бронзиро-

ванной проволоке, тем ниже степень дефекта «расслой». Увеличение содержания углерода в перлите катанки, повышение величины ее разрывного усилия и относительного удлинения снижает способность к скручиванию стальной проволоки. Механизм образования высокодисперсных областей перлита на поверхности катанки связан с режимами нагрева и охлаждения в процессе прокатки. Увеличение доли областей с высокодисперсной составляющей перлита сопровождается ростом фазовых напряжений в катанке, которые снижают уровень механических свойств бортовой проволоки.

В третьей главе представлены результаты исследований взаимосвязей между характеристиками микроструктуры катанки и степенью расслоя бортовой бронзированной проволоки.

Микроструктура перлита катанки, изготавливаемой на РУП «БМЗ», представлена на рисунке 2. Из рисунка можно видеть области перлита с различной степенью дисперсности. Одной из основных характеристик перлитной структуры является межпластиночное расстояние. Для расчета межпластиночных расстояний в микроструктурах перлита катанки использовали программу «АОМ-1» (разработка компьютерной САЕ-группы БНТУ, руководитель Чичко А.Н.), позволяющую определить статистическое распределение межпластиночных феррито-цементитных расстояний.

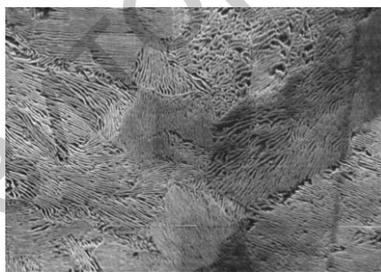
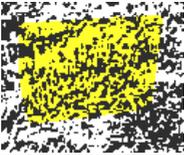
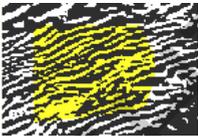
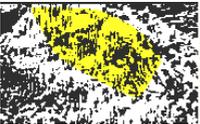
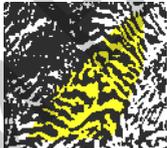
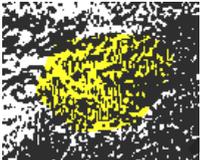


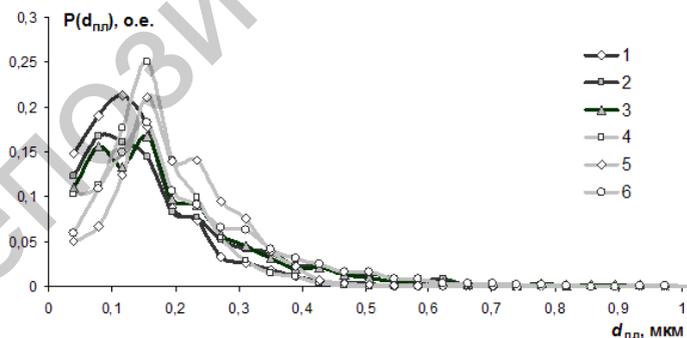
Рисунок 2 – Микроструктура перлитной стали (80БВ) катанки, полученная на электронном микроскопе (увеличение 4000, плавка 32004 РУП «БМЗ»)

На основе промышленных данных микроструктур катанки были выделены области с различной степенью дисперсности перлита. Детализация областей перлита представлена в таблице 1. Для каждой из выделенных областей были рассчитаны статистические распределения межпластиночных феррито-цементитных расстояний перлита катанки,

выраженные через статистическую функцию распределения межпластиночных расстояний – P (относительные единицы) = $f(d_{пл})$ (рисунок 3).

Таблица 1 – Фрагменты изображения эвтектоидных колоний перлита катанки ($\times 4000$)

Высокодисперсные области	Нормальные области
<p>Колония 1</p> 	<p>Колония 4</p> 
<p>Колония 2</p> 	<p>Колония 5</p> 
<p>Колония 3</p> 	<p>Колония 6</p> 



1 – колония 1; 2 – колония 2; 3 – колония 3; 4 – колония 4; 5 – колония 5; 6 – колония 6

Рисунок 3 – Статистическое распределение доли эвтектоидных колоний по межпластиночным расстояниям для объектов с различной степенью дисперсности

Как видно из анализа статистических распределений межпластиночных расстояний перлита, математическое описание дисперсности эвтектоидных колоний может быть легко проиллюстрировано на основе статистического распределения феррито-цементитных расстояний. Причем области с высокой степенью дисперсности перлита характеризуются большими значениями функции плотности распределения межпластиночных расстояний, что можно видеть из рисунка 3.

На первом этапе исследования на основе промышленных данных РУП «БМЗ» был проведен первичный анализ и сформирована выборка, включающая микроструктуры катанки и соответствующие им данные о степени раслоса бортовой бронзированной проволоки. Схема решения задачи представлена на рисунке 4.

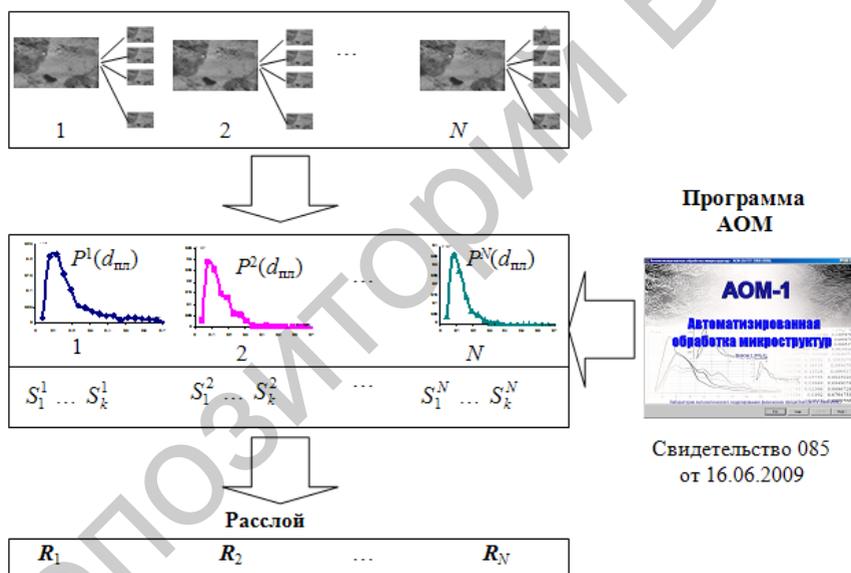
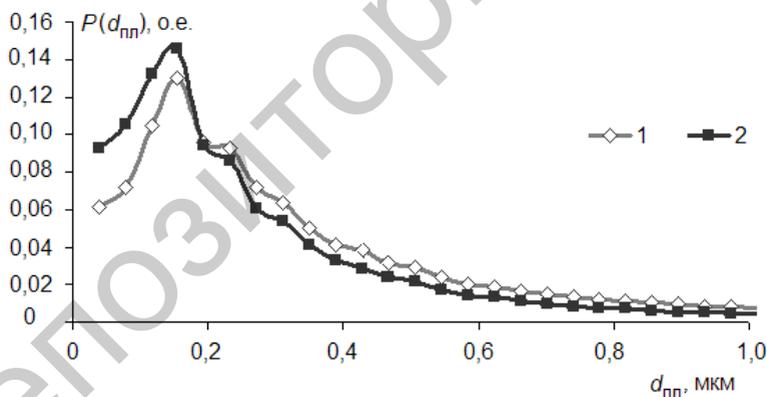


Рисунок 4 – Этапы исследования взаимосвязей «микроструктура катанки – раслои стальной проволоки»

В качестве исходных данных для исследования взаимосвязей между свойствами проволоки (степень раслоса) и характеристиками микроструктуры катанки (межпластиночные расстояния «феррита-цементита») использовали две группы технологических режимов.

Первая группа (условное название A_{np}) характеризовалась статистическим набором технологических режимов катанки, не приводящим к образованию дефекта типа «расслой» в бортовой бронзированной проволоке. Вторая группа (условное название B_p), наоборот, включала технологические режимы, приводящие к образованию дефектов типа «расслой». В дальнейшем для каждой из отображенных микроструктур были построены статистические зависимости доли эвтектоидных колоний перлита от величины межпластиночного феррито-цементитного расстояния. На рисунке 5 представлены результаты расчета функции статистического распределения межпластиночных расстояний для микроструктур двух групп катанки $P(d_{пн})$. Сопоставляя эти результаты с данными, полученными для двух типов катанки, приводящих и не приводящих к расслою, можно сделать вывод о том, что причиной образования дефекта типа «расслой» в бортовой проволоке являются высокодисперсные колонии катанки. Из рисунка видно, что статистические распределения межпластиночных расстояний двух групп катанки сдвинуты друг относительно друга, что позволяет их использовать в качестве показателя расслоя бортовой бронзированной проволоки.



- 1 – группа A_{np} (нет дефекта «расслой» в бортовой проволоке);
- 2 – группа B_p (есть дефект «расслой» в бортовой проволоке)

Рисунок 5 – Статистическое распределение доли эвтектоидных колоний по межпластиночным расстояниям для различных групп катанки

На следующем этапе были проведены исследования взаимосвязей между микроструктурой перлита катанки и параметрами техно-

логии стана «150» РУП «БМЗ». В качестве исходных данных использовали тридцать микроструктур. Все данные были получены на основе образцов катанки, изготавливаемой по технологии, используемой на РУП «БМЗ». В качестве технологических параметров получения катанки были использованы характеристики (T_i , $i = 1 \dots 20$) (рисунок 1).

В качестве характеристик микроструктуры перлита катанки были использованы параметры, характеризующие доли межпластиночных расстояний на кривой $P = f(d_{\text{пл}})$ статистического распределения эвтектоидных колоний в различных интервалах изменения расстояний: S_0 – в интервале $[d_{\text{min}}; d_{\text{max}}]$, S_1 – $[d_{\text{min}}; 0,1 \cdot d_{\text{max}}]$, S_2 – $[d_{\text{min}}; 0,2 \cdot d_{\text{max}}]$, S_3 – $[d_{\text{min}}; 0,3 \cdot d_{\text{max}}]$, S_4 – $[d_{\text{min}}; 0,4 \cdot d_{\text{max}}]$, S_5 – $[d_{\text{min}}; 0,5 \cdot d_{\text{max}}]$, S_6 – $[d_{\text{min}}; 0,6 \cdot d_{\text{max}}]$, S_7 – $[d_{\text{min}}; 0,7 \cdot d_{\text{max}}]$, S_8 – $[d_{\text{min}}; 0,8 \cdot d_{\text{max}}]$, S_9 – $[d_{\text{min}}; 0,9 \cdot d_{\text{max}}]$, где d_{min} и d_{max} минимальное и максимальное межпластиночное расстояние в микроструктуре перлита.

Для оценки степени взаимосвязи между характеристиками микроструктур и параметрами технологических режимов катанки использован критерий Np (относительные единицы), зависящий от коэффициента корреляции и ранжировки исследуемых факторов. Показано, что вклад различных технологических факторов в формирование микроструктуры уменьшается следующим образом: $Np(T_{11})=0,28$ («среднее значение степени открытия клапанов водяного охлаждения зоны 3.1»); $Np(T_2)=0,25$ («скорость проката в редуционно-калибровочном блоке»); $Np(T_8) = 0,17$ («среднее значение скорости проката на проволочном блоке «Моргана»); $Np(T_9) = 0,15$ («среднее значение степени открытия клапанов водяного охлаждения зоны 1»); $Np(T_7) = 0,10$ («температура катанки на виткообразователе»); $Np(T_{12}) = 0,02$ («среднее значение степени открытия клапанов водяного охлаждения зоны 3.2»); $Np(T_6) = 0,01$ («температура катанки перед РКБ»); $Np(T_4) = 0,01$ («температура заготовки перед первой клетью»).

Вклад остальных параметров технологии в формирование микроструктуры оказался незначительным.

В четвертой главе представлены результаты по выбору технологических режимов изготовления катанки, обеспечивающих качество метизной продукции. На основе проведенных исследований показано, что интервалы изменения технологических факторов катанки могут быть условно разделены на две группы в соответствии с данными промышленных испытаний, отнесенных к группам $A_{\text{нр}}$ и

B_p . Причем одна группа характеризует условия образования расслоя в бортовой бронзированной проволоке, а другая группа, наоборот, характеризует условия, не приводящие к образованию расслоя в проволоке. По этим данным на основе статистического анализа промышленных испытаний, включающих выборки свыше 2000 наблюдений, были рассчитаны характеристики статистических распределений для трех выборок (A_{np} , B_p , $A_{np} + B_p$).

В таблице 2 предложены технологические режимы изготовления катанки, позволяющие минимизировать вероятность образования дефекта типа «расслоя» в бортовой бронзированной проволоке, изготавливаемой из стали 80БВ.

Таблица 2 – Рекомендуемые и используемые пределы изменения параметров технологии получения катанки на РУП «БМЗ»

Параметр технологии получения катанки	Используемые пределы		Рекомендуемые пределы	
	Нижняя граница параметра x_n	Верхняя граница параметра x_b	Нижняя граница параметра x_n	Верхняя граница параметра x_b
Скорость проката в редуционно-калибровочном блоке, м/с	99,91	105,07	101	105
Температура заготовки перед проволочным блоком «Моргана», °С	904	1004	973	983
Температура катанки перед редуционно-калибровочным блоком, °С	919	1014	963	976
Температура катанки на виткообразователе, °С	798	883	847	853
Среднее значение скорости проката на проволочном блоке «Моргана», м/с	60,93	88,48	62,7	65,2
Среднее значение степени открытия клапанов водяного охлаждения для зоны 1, %	4,1	52,6	8,5	14,9
Среднее значение степени открытия клапанов водяного охлаждения для зоны 3.1, %	0,1	73,8	25,3	40,2
Среднее значение степени открытия клапанов водяного охлаждения для зоны 3.2, %	0,1	102,4	59,5	82

Разработаны требования к технологическим параметрам при производстве катанки для РУП «БМЗ», позволяющие снизить веро-

ятность образования дефекта типа «раслой» в бортовой бронзированной проволоке (фрагмент ТИ 840-ПЗ-01-2007, Изменение 10).

В пятой главе описаны разработанные экспериментальные методики для оценки качества метизной продукции за счет одновременного определения следующих характеристик (предел прочности, предел текучести, максимальное разрывное усилие) в условиях сложной деформации при заданных входных параметрах деформационного нагружения (шаг свивки витой структуры, диаметр стержня витой структуры, диаметр витой структуры, прикладываемая нагрузка, степень подкручивания). Разработанные методики отличаются от известных измерением деформационных характеристик при задании нагрузок в трех направлениях, что позволяет на одном образце в промышленных условиях определять пластические свойства витой структуры. Это имеет важное практическое значение для оценки качества металлокордовых изделий в металлургическом производстве. Разработана методика определения деформируемости проволоки-заготовки из высокоуглеродистой стали, позволяющая определить способность стали к деформированию при последующих операциях волочения с большими и очень большими степенями деформации с достижением требуемых техническими условиями характеристик. Разработана методика определения деформации проволок для изготовления витых изделий, предназначенная для сравнительного анализа различных способов свивки и полной нагрузки на проволоки металлокорда. Методика включает определение величины полной деформации проволок исходя из кинематических уравнений свивочных процессов, а также экспериментального определения значения натяжения проволок, шага свивки, скорости вращения торсиона, глубины обработки в рихтовальном устройстве. С помощью разработанных методик предложены способы изготовления компактного не расслаивающегося металлокорда, металлокорда с улучшенным проникновением резины, способы производства не расслаивающейся стальной проволоки, предназначенной для армирования резиновых шин, на которые получены патенты Республики Беларусь, Российской Федерации, Украины и ЕАПО.

В приложениях представлены описания патентов диссертанта, а также приведены документы, показывающие практическую ценность работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

В результате выполнения диссертационной работы решена важная научно-техническая задача, заключающаяся в установлении взаимосвязей между микроструктурой катанки и свойствами стальной проволоки метизного производства.

1. Установлено, что в условиях заданных границ изменения технологических параметров на следующих стадиях металлургического передела «шихта → расплав → слиток → катанка → метизная продукция» на формирование дефекта «расслой» в бортовой бронзированной проволоке оказывают влияние высокодисперсные области перлита катанки. Причиной образования высокодисперсных областей перлита в микроструктуре катанки является чередование нагрева и охлаждения стали при прокатке и на этапе «катанка → метизная продукция» в процессе получения проволоки из катанки, что оказывает влияние на образование остаточных напряжений, и как следствие, на образование дефекта «расслой» в стальной проволоке [4–7, 12].

2. Показано, что микроструктура катанки состоит из эвтектоидных колоний, различающихся степенью дисперсности, и количественный анализ ее микроструктуры может быть проведен с помощью статистической функции распределения феррито-цементитных межпластиночных расстояний. Установлены закономерности между характеристиками микроструктуры стальной катанки и расслоем бортовой бронзированной проволоки, что имеет важное практическое значение для выявления причин брака метизной продукции [4–7, 12, 13].

3. Исследованы взаимосвязи между характеристиками различных групп межпластиночных расстояний перлита катанки и технологическими режимами изготовления метизной продукции. На характеристики микроструктуры катанки оказывают влияние следующие технологические параметры: «среднее значение степени открытия клапанов зон водяного охлаждения», «скорость проката в редуционно-калибровочном блоке», «среднее значение скорости проката на проволочном блоке «Моргана», «температура катанки на виткообразователе», «температура катанки перед редуционно-калибровочным блоком», «температура заготовки перед первой клетью». Для стали 80БВ с содержанием углерода в интервале 0,74–0,85 % установлена корреляционная взаимосвязь между числом скручиваний проволоки и содержанием углерода в катанке, а также

между числом скручиваний и величиной расслоя проволок диаметром 1,55 мм и 1,6 мм [8].

4. Разработаны методики оценки показателей качества метизной продукции металлургического производства, отличающиеся от известных измерением деформационных характеристик при задании нагрузок в трех направлениях и позволяющие в промышленных условиях одновременно определять свойства витых проволок (предел прочности, предел текучести, максимальное разрывное усилие) в условиях сложной деформации при заданных входных параметрах деформационного нагружения (шаг свивки витой структуры, диаметр стержня витой структуры, диаметр витой структуры, прикладываемая нагрузка, степень подкручивания).[1–3, 9–12].

5. Для металлургического производства РУП «БМЗ» усовершенствованы и внедрены технологические режимы двухстадийного охлаждения катанки, позволяющие повысить качество бортовой бронзированной проволоки, за счет снижения дефектов, связанных с расслоением проволоки (фрагмент ТИ 840-ПЗ-01-2007, Изменение 10). Наилучшими технологическими параметрами при изготовлении катанки, позволяющими минимизировать образование дефекта типа «расслоя» в бортовой бронзированной проволоке, изготавливаемой из стали 80БВ на РУП «БМЗ», являются: скорость проката в редуционно-калибровочном блоке в пределах $101 \div 105$ м/с, температура заготовки перед проволочным блоком «Моргана» – $973 \div 983$ °С, температура катанки перед редуционно-калибровочным блоком – $963 \div 976$ °С, температура катанки на виткообразователе – $847 \div 853$ °С, среднее значение скорости проката на проволочном блоке «Моргана» – $62,7 \div 65,2$ м/с, среднее значение степени открытия клапанов водяного охлаждения для зоны 1 – $8,5 \div 14,9$ %, среднее значение степени открытия клапанов водяного охлаждения для зоны 3.1 – $25,3 \div 40,2$ %, среднее значение степени открытия клапанов водяного охлаждения для зоны 3.2 – $59,5 \div 82$ %. Экономический эффект от внедрения разработки составил 61 907 971 рублей.

6. На производимую продукцию из стальной проволоки в условиях РУП «БМЗ» получено семь патентов [14–20]. На автоматизированный метод расчета межпластиночных расстояний перлита углеродистой стали выдано одно свидетельство [21]. Общий экономический эффект от внедрения научно-технических разработок диссертанта на РУП «БМЗ» составил 615 458 600 рублей (долевое участие автора 171 445 679 рублей).

Рекомендации по практическому применению

Разработанные методики и режимы могут быть использованы в научно-исследовательских организациях, занимающихся разработкой технологии изготовления метизной продукции из катанки. Методология статистического исследования взаимосвязей между структурой и свойствами сталей может быть использована в исследованиях по совершенствованию технологии на непрерывных технологических агрегатах металлургических предприятий.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах

1. Веденеев, А.В. Анализ деформаций элементов витых структур и их влияние на потери прочности при производстве металлокорда / А.В. Веденеев, А.С. Желтков, В.В. Филиппов // Весці Нац. акад. наук Беларусі. Сер. физ.-техн. наук. – 2000. – № 3. – С. 23 – 27.
2. Желтков А.С. Анализ причин остаточного кручения металлокорда / А.С. Желтков, А.В. Веденеев, А.Н. Савенок // Сталь. – 2002. – № 10. – С. 76 – 77.
3. Веденеев, А.В. Новые направления в развитии металлокорда / А.В. Веденеев // Сталь. – 2004. – № 10. – С. 60 – 61.
4. Чичко А.Н. О новых математических методах анализа микроструктур эвтектоидных колоний перлитных сталей / А.Н. Чичко, О.А. Сачек, А.В. Веденеев, В.Ф. Соболев // Литье и металлургия. – 2008. – № 4. – С. 104 – 112.
5. Чичко А.Н. Алгоритмы обработки изображений микроструктур сталей для определения межпластиночных расстояний феррита и цементита / А.Н. Чичко, О.А. Сачек, А.В. Веденеев // Литье и металлургия. – 2009. – № 1. – С. 86 – 93.
6. Системный анализ взаимосвязей между спектральными характеристиками изображения микроструктуры стали и ее механическими свойствами в металлургической продукции / А.Н. Чичко, О.А. Сачек, А.В. Веденеев, В.Ф. Соболев // Литье и металлургия. – 2009. – № 3. – С. 61 – 70.
7. Компьютерное моделирование влияния технологических режимов прокатки на микроструктуру эвтектоидных колоний перлита катанки / А.Н. Чичко, А.В. Веденеев, О.А. Сачек, В.Ф. Соболев, О.И. Чичко, Л.А. Феклистова // Литье и металлургия. – 2010. – № 1–2. – С. 59 – 68.
8. Статистический анализ взаимосвязей между характеристиками катанки и деформационными свойствами изготавливаемой из нее проволоки / А.Н. Чичко, А.В. Веденеев, О.А. Сачек, Л.А. Феклистова // Литье и металлургия. – 2010. – № 1–2. – С. 69 – 75.

Материалы и тезисы докладов на научно-технических конференциях

9. Веденеев, А.В. Производство металлокорда компактных конструкций на Белорусском металлургическом заводе / А.В. Веденеев // Металл-2001: материалы II междунар. науч.-техн. конф. молодых специалистов, Жлобин, 10 ноябр., 2001 г. / РУП «БМЗ»; редкол. А.В. Климовский [и др.]. – Жлобин, 2001. – С. 14.

10. Веденеев, А.В. Направление развития высокоэффективных конструкций металлокорда / А.В. Веденеев, А.С. Желтков, А.М. Нагорный // Резиновая промышленность: сырье, материалы, технология: тезисы восьмой науч.-практ. конф., Москва, 14 – 18 мая, 2001 г. / ООО «НТЦ НИИШП». – Москва, 2001. – С.138 – 143.

11. Веденеев, А.В. Новые направления в развитии металлокорда / А.В. Веденеев // Металлургия XXI века : материалы междунар. науч.-техн. конф., посвященная 20-летию РУП «БМЗ», раздел «Метизное производство», Жлобин, 10 – 11 июня, 2004 г. / РУП «БМЗ», редкол. А.В. Климовский [и др.]. – Жлобин, 2004. – С. 7 – 10.

12. Веденеев, А.В. Металлокорд с полным проникновением резиновой смеси в структуру металлокорда / А.В. Веденеев // Проблемы шин и резинокордных композитов: материалы семнадцатого симпозиума, Москва, 16 – 20 окт., 2006 г. / ООО «НТЦ НИИШП». – Москва, 2006. – С. 70 – 78.

13. Методы автоматизации для анализа микроструктур сталей перлитного класса / О.А Сачек, А.Н. Чичко, В.Ф. Соболев, А.В. Веденеев / Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов: материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 28 – 29 окт., 2009 г. / БГТУ; редкол.: И.М. Жарский [и др.]. – Минск, 2009. – С.25 – 28.

Авторские свидетельства и патенты

14. Способ изготовления металлокорда: пат. ВУ 7086 С1 / В.В. Филиппов, А.В. Веденеев, А.С. Желтков / опубл. 30.06.2005 // Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры: афіц. бюл. – 2005. – № 2 (45). – С. 196.

15. Металлокорд с улучшенным проникновением резины: пат. RU 2256017 С1 / А.В. Веденеев, А.Н. Савенок, Н.В. Андрианов, В.В. Ежов / опубл. 10.07.2005, бюл. №19.

16. Металлокорд с улучшенной фиксацией проволок сердечни-

ка: пат. UA 73607 C2 / А.В. Веденеев, А.С. Желтков, А.Н. Савенок, В.В. Филиппов / 15.08.2005 / опубл. 15.08.2005, бюл. №2.

17. Компактный нерасплаивающийся металлокорд: пат. RU 2263731 C2 / А.С. Желтков, А.В. Веденеев, А.Н. Савенок, Н.В. Андрианов, И.И. Крымчанский / опубл. 10.11.2005, бюл. №31.

18. Комбинированный металлокорд: Евразийский пат. 006350 В1 / Б.Я. Хесин, А.В. Веденеев, Н.В. Андрианов, В.А. Маточкин, А.Н. Савенок / 25.12.2005. бюл. №6, 2005 г., С. 268.

19. Металлокорд с улучшенной фиксацией проволоки сердечника и устройство для его изготовления: пат. на полезную модель ВУ 8285 U / А.В. Веденеев, А.С. Желтков, А.Н. Савенок, В.В. Филиппов / опубл. 04.04.2006 // Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры: афіц. бюл. – 2006. – №4 (35). – С. 84 – 85.

20. Компактный нерасплаивающийся металлокорд: пат. ВУ 8165 С1 / И.И. Крымчанский, А.С. Желтков, А.В. Веденеев, А.Н. Савенок, Н.В. Андрианов / опубл. 30.06.2006 г // Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры: афіц. бюл. – 2006. – № 3 (50). – С. 99 – 100.

21. Авторское свидетельство №085 о регистрации компьютерной программы «АОМ-1». Первообладатели КП: Чичко А.Н., Сачек О.А., Лихоузов С.Г., Веденеев А.В., Барадынцева Е.П., Соболев В.Ф. Год создания 2009. Заявка С20090028, дата подачи 11.06.2009. Дата внесения записи в Реестр зарег. комп. программ 16.06.2009.

РЭЗІЮМЭ
Ведзянееў Аляксандр Уладзіміравіч

**ПАВЫШЭННЕ ЭФЕКТЫЎНАСЦІ ТЭХНАЛОГІІ ВЫРАБУ
МЕТЫЗНАЙ ПРАДУКЦЫІ З СТАЛЬНОЙ КАТАНКІ**

Вызначальныя словы: метызная прадукцыя, сталь, мікраструктура перліту, катанка, раслой у дроце.

Мэтай дысертацыйнай работы з'яўляецца распрацоўка метадаў ўдасканалення тэхналогіі вырабу метызнай прадукцыі з катанкі.

Аб'ектам даследвання з'яўляецца тэхналогія вырабу бартавога бранзіраванага дроту з катанкі.

Устаноўлена, што ва ўмовах зададзеных межаў змянення тэхналагічных параметраў на наступных стадыях металургічнага перадызелу «шыхта – расплаў – злітак – катанка – метызная прадукцыя» на фарміраванне дэфекту «раслой» у бартавым бранзіраваным дроце аказваюць уплыў высокадысперсныя галіны перліту катанкі. Было паказана, што мікраструктура катанкі складаецца з эўтактоідных калоній, якія адрозніваюцца ступенню дысперснасці, і колькасны аналіз мікраструктуры можа быць праведзены з дапамогай статыстычнай функцыі размеркавання ферыта-цэментытных міжпласцінавых адлегласцей перліту катанкі і тэхналагічнымі рэжымамі вырабу метызнай прадукцыі. Выяўлены карэляцыйныя ўзаемасувязі паміж параметрамі мікраструктуры катанкі і тэхналогіяй яе атрымання ва ўмовах РУП «БМЗ». Распрацаваны метадыкі ацэнкі паказчыкаў якасці метызнай прадукцыі металургічнай вытворчасці, для кампактнага нераслойваемага металакорду, металакорду з палепшаным прасачваннем гумы, а таксама спосабы вытворчасці нераслойваемага сталнога дроту, прызначанага для арміравання гумавых шынаў. Для металургічнай вытворчасці РУП «БМЗ» былі ўдасканалены тэхналагічныя рэжымы двухстадыйнага ахаладжвання катанкі, якія дазваляюць павысіць якасць бартавога бранзіраванага дроту. Эканамічны эффект ад укаранення распрацовак на РУП «БМЗ» склаў 615 458 600 рублёў (долевы ўдзел аўтара 171 445 679 рублёў).

РЕЗЮМЕ
Веденеев Александр Владимирович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕТИЗНОЙ ПРОДУКЦИИ ИЗ СТАЛЬНОЙ
КАТАНКИ**

Ключевые слова: метизная продукция, сталь, микроструктура перлита, катанка, расслей в проволоке.

Целью диссертационной работы является совершенствование технологии изготовления метизной продукции из катанки.

Объектом исследования является технология изготовления бортовой бронзированной проволоки из катанки.

Установлено, что в условиях заданных границ изменения технологических параметров на следующих стадиях металлургического передела «шихта → расплав → слиток → катанка → метизная продукция» на формирование дефекта «расслей» в бортовой бронзированной проволоке оказывают влияние высокодисперсные области перлита катанки. Показано, что микроструктура катанки состоит из эвтектоидных колоний, различающихся степенью дисперсности, и количественный анализ микроструктуры может быть проведен с помощью статистической функции распределения ферритоцементитных межпластиночных расстояний. Исследованы взаимосвязи между характеристиками различных групп межпластиночных расстояний перлита катанки и технологическими режимами изготовления метизной продукции. Установлены корреляционные взаимосвязи между параметрами микроструктуры катанки и технологией ее получения в условиях РУП «БМЗ». Разработаны методики оценки показателей качества метизной продукции металлургического производства для компактного не расслаивающегося металлокорда, металлокорда с улучшенным проникновением резины, а также способы производства не расслаивающейся стальной проволоки, предназначенной для армирования резиновых шин. Для металлургического производства РУП «БМЗ» усовершенствованы и внедрены технологические режимы двухстадийного охлаждения катанки, позволяющие повысить качество бортовой бронзированной проволоки. Экономический эффект от внедрения разработок на РУП «БМЗ» составил 615 458 600 рублей (долевое участие автора 171 445 679 рублей).

SUMMARY

Alexander Vladimirovich VEDENEYEV

INCREASE OF EFFICIENCY OF MANUFACTURING TECHNIQUES OF HARDWARE PRODUCTION FROM WIRE ROD

Keywords: hardware production, steel, pearlite microstructure, wire rod, delamination in wire.

The purpose of this dissertation is development of methods to perfect manufacturing techniques of hardware production from wire rod.

Object of research is manufacturing techniques of bronze-plated bead wire production from wire rod.

It was established that in the conditions of the set limits of technological parameters change at the following steps of metallurgical stages «charge → melt → ingot → wire rod → hardware production» delamination defect formation in bronze-plated bead wire is influenced by high-disperse areas of fine-grained pearlite in wire rod. It is shown that wire rod microstructure consists of eutectoid colonies differing in the degree of dispersion, and quantitative analysis of the microstructure can be made by means of the statistical function of distribution of ferrite-cementite interlamellar distances. Interrelations between characteristics of various groups of interlamellar distances of pearlite in wire rod and technological modes of hardware production are investigated. Correlation interrelations between microstructure parameters of wire rod and the technology of its manufacturing at RUE «BMZ» are determined. Techniques of quality indicators of hardware production of steel making for manufacturing compact not stratified steel cord, steel cord with the improved penetration of rubber, ways of manufacture of not stratified steel wire intended for reinforcing of rubber tyres. For metallurgical production of RUE «BMZ» technological modes of two-phase wire rod cooling are optimized and introduced to allow improvement of bronze-plated bead wire quality. Economic benefit from the introduction of these solutions at RUE «BMZ» made up 615 458 600 rubles (author share in capital was 171 445 679 rubles).

Научное издание

ВЕДЕНЕЕВ Александр Владимирович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕТИЗНОЙ ПРОДУКЦИИ ИЗ СТАЛЬНОЙ
КАТАНКИ**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальностям
05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов;
05.16.01 – Metallоведение и термическая обработка металлов и
сплавов

Ответственный за выпуск Т.Н. Микулик

Подписано в печать 12.09.2010

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 1,39. Уч.-изд. л. 1,09. Тираж 60. Заказ 1028.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0131627 от 01.04.2010.

Проспект Независимости, 65, 220013, Минск.