

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
Российская академия естественных наук

**ВЕСТНИК
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

Отделение металлургии

Сборник научных трудов

Издается с 1994 г. ежегодно

Выпуск 38

Москва
Новокузнецк
2017

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)

ББК 34.3я4

В 387

В 387 Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. Вып. 38 / Редкол.: Е.В. Протопопов (главн. ред.), М.В. Темлянцев (зам. главн. ред.), Г.В. Галевский (зам. главн. ред.) [и др.]: Сибирский государственный индустриальный университет. – Новокузнецк, 2017 – 230 с., ил.

Издание сборника статей, подготовленных авторскими коллективами, возглавляемыми действительными членами и членами-корреспондентами РАЕН, других профессиональных академий, профессорами вузов России. Представлены работы по различным направлениям исследований в области металлургии черных и цветных металлов и сплавов, порошковой металлургии и композиционных материалов, физики металлов и металловедения, экономики и управления на предприятиях.

Сборник реферируется в РЖ Металлургия.

Электронная версия сборника представлена на сайте <http://www.sibsiu.ru> в разделе «Научные издания»

Ил. 45, табл. 28, библиогр. назв. 222.

Редакционная коллегия: Аренс В.Ж., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН, вице-президент РАЕН, г. Москва; Райков Ю.Н., д.т.н., д.ч. РАЕН, председатель горно-металлургической секции РАЕН, ОАО «Институт Цветметобработка», г. Москва; Протопопов Е.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (главный редактор), СибГИУ, г. Новокузнецк; Темлянцев М.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (зам. главного редактора), СибГИУ, г. Новокузнецк; Галевский Г.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (зам. главного редактора), СибГИУ, г. Новокузнецк; Буторина И.В., д.т.н., проф., СПбГПУ, г. Санкт-Петербург; Волокитин Г.Г., д.т.н., проф., д.ч. МАНЭБ, ТГАСУ, г. Томск; Медведев А.С., д.т.н., проф., д.ч. МАН ВШ, НИТУ «МИСиС», г. Москва; Максимов А.А., д.т.н., проф., г. Новокузнецк; Немчинова Н.В., д.т.н., проф., НИ ИрГТУ, г. Иркутск; Руднева В.В., д.т.н., проф. (отв. секретарь), СибГИУ, г. Новокузнецк; Спирин Н.А., д.т.н., проф., д.ч. АИН, УрФУ, г. Екатеринбург; Черепанов А.Н., д.ф.-м.н., проф., член РНК ТММ, ИТПМ СО РАН, г. Новосибирск; Юрьев А.Б., д.т.н., проф., АО «Евраз – ЗСМК», г. Новокузнецк.

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)

ББК 34.3я4

© Сибирский государственный индустриальный университет, 2017

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ И РУКОВОДИТЕЛЯХ
АВТОРСКИХ КОЛЛЕКТИВОВ

Базайкин В.И.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Галевский Г.В.	д-р техн. наук, проф., д.ч. РАЕН, СибГИУ, г. Новокузнецк
Деев В.Б.	д-р техн. наук, проф., НИТУ «МИСиС», г. Москва
Дорофеев В.В.	д-р техн. наук, АО «ЕВРАЗ ЗСМК», г. Новокузнецк
Козырев Н.А.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Оршанская Е.Г.	д-р пед. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Руднева В.В.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Селянин И.Ф.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Темлянцев М.В.	д-р техн. наук, проф., д.ч. РАЕН, СибГИУ, г. Новокузнецк

Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ	7
МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	8
<i>Чжан Кэ</i>	
Проектно-исследовательский институт цветной металлургии Китая: научно-технологический потенциал, проектирование, строительство, инжиниринг, рециклинг горно-металлургических, энергетических и водохозяйственных объектов	9
<i>И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, И.Т. Амонов, Н.Р. Эсанов</i>	
Влияния щелочноземельных металлов на анодное поведение сплава Al + 2,18 % Fe в нейтральной среде	13
<i>В.М. Павловец</i>	
Анализ технических решений, направленных на управление пластической деформацией зародышей в технологии производства окатышей, основанной на принудительном зародышеобразовании	22
<i>В.М. Павловец</i>	
Анализ технических решений, направленных на организацию предварительного влагоудаления на участке окомкования в производстве железорудных окатышей	30
<i>В.М. Павловец</i>	
Анализ технических решений, направленных на управление процессом зародышеобразования в производстве окатышей, основанном на принудительном зародышеобразовании	37
<i>В.Б. Деев, Е.С. Прусов, С.В. Сметанюк, О.Г. Приходько, К.В. Пономарева</i>	
Влияние железа на характер кристаллизации, литейные и механические свойства заэвтектического силумина	43
<i>М.В. Темлянец, К.С. Коноз, О.В. Кузнецова, Э.Я. Живаго, В.Я. Целлермаер</i>	
Исследование высокотемпературного окисления рессорно-пружинной стали марки 40С2 и особенностей строения ее окарины	48
<i>А.А. Уманский, В.В. Дорофеев, А.В. Головатенко, В.Н. Кадыков, А.В. Добрянский</i>	
Совершенствование режимов прокатки острых рельсов на универсальном рельсобалочном стане	55
<i>Е.С. Прусов, В.Б. Деев</i>	
Перспективы применения ультразвука при вводе наночастиц в алюминиевые расплавы	64
<i>Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев, А.О. Патрушев, С.Н. Кратько, Р.Е. Крюков</i>	
Поиск оптимальных технологических параметров режима работы рельсосварочной машины К1000	70
<i>Р.А. Шевченко, С.Н. Кратько, П.Е. Шишкин, Н.А. Козырев, В.И. Базайкин</i>	
Применение методов математического моделирования для оптимизации технологических параметров процесса контактной сварки рельсов на машине К1000	76
<i>Р.А. Шевченко, В.И. Базайкин, С.Н. Кратько, Н.А. Козырев, А.О. Патрушев</i>	
Анализ токового режима работы сварочной машины К1000 при сварке рельсов на этапе оплавления	81
ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ	88
<i>Т.И. Алексеева, Г.В. Галевский, В.В. Руднева</i>	
Термодинамическое моделирование плазмосинтеза карбида циркония	89
<i>Г.В. Галевский, В.В. Руднева, К.А. Ефимова</i>	
Исследование механизма плазмосинтеза диборида титана	97

<i>Г.В. Галевский, В.В. Руднева, К.А. Ефимова</i>	
Окисление нанокристаллического диборида титана при хранении и нагревании в воздушной среде.....	107
ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ	117
<i>В.Б. Деев, О.Г. Приходько, А.И. Куценко, И.Ф. Селянин</i>	
Расчеты энергии атомных систем в приближении постоянной электронной плотности.	118
<i>В.Б. Деев, О.Г. Приходько, А.И. Куценко, И.Ф. Селянин</i>	
Исследование взаимодействия электронных оболочек атомов с различным набором квантовых чисел	123
<i>В.Б. Деев, О.Г. Приходько, А.И. Куценко, И.Ф. Селянин</i>	
Выполнение теоремы Купманса в приближении постоянной электронной плотности.	128
<i>В.Б. Деев, О.Г. Приходько, А.И. Куценко, И.Ф. Селянин</i>	
Расчет корреляционной поправки первого порядка в модели постоянной электронной плотности.	133
<i>В.Б. Деев, О.Г. Приходько, А.И. Куценко, И.Ф. Селянин</i>	
Расчет корреляционной поправки в движении электронов в поле точечного положительного заряда ядра.	142
<i>А.И. Гусев, Н.А. Козырев, Н.В. Кибко, Р.Е. Крюков, И.В. Осетковский</i>	
Свойства металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Mo-Ni-V-Co	147
<i>И.В. Осетковский, Н.А. Козырев, А.И. Гусев, Р.Е. Крюков, М.В. Попова</i>	
Свойства металла, наплавленного порошковыми проволоками систем Fe-C-Si-Mn-Ni-Mo-W - V и Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V.....	155
ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ.	163
<i>Г.В. Галевский, В.В. Руднева, В.С. Александров</i>	
Мировое и отечественное производство алюминия: оценка, тенденции, прогнозы.....	164
<i>Т.А. Михайличенко, А.Г. Гальчун</i>	
Использование возобновляемых биоэнергетических ресурсов в разных странах.	171
ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ.	175
<i>Д.И. Оршанский, Е.Г. Оршанская</i>	
Личностно ориентированная модель деятельности современного преподавателя	176
<i>Т.Г. Моисеенко</i>	
Формы и методы повышения квалификации учителей.....	182
<i>Е.Г. Оршанская</i>	
Мастер-класс как средство повышения уровня владения иностранным языком.	186
<i>Ю.К. Осипов</i>	
Архитектура, образование, проблемы и реальность.	193
ОТКЛИКИ, РЕЦЕНЗИИ, БИОГРАФИИ.	197
<i>Г.Г. Волокитин</i>	
Рецензия на учебное пособие «Оборудование и технология алюминиевого производства» (Авторы Галевский Г.В., Минцис М.Я., Руднева В.В. – М. : Наука : Флинта, 2017 – 265 с.).....	198
<i>Г.Г. Волокитин</i>	
Рецензия на учебное пособие «Технологические и конструктивные измерения и расчеты в производстве алюминия» (Авторы Галевский Г.В., Минцис М.Я., Руднева В.В. – М. : Флинта : Наука, 2017. – 218 с.).....	200

<i>Н.В. Немчинова</i>	
Рецензия на монографию «Применение буроугольного полукокса в процессах металлизации и карбидизации техногенного металлургического сырья» (Авторы Аникин А.Е., Галевский Г.В. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2017. – 156 с.)	202
<i>В.В. Лавров</i>	
Рецензия на монографию «Разработка и внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий обработки металлов давлением» авторы (М.В. Филиппова, В.Н. Перетяцько, М.В. Темлянцев. – Новосибирск : Издательство СО РАН, 2016. – 269 с.).....	205
<i>В.В. Дорофеев</i>	
Рецензия на монографию «Разработка и внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий обработки металлов давлением» авторы (М.В. Филиппова, В.Н. Перетяцько, М.В. Темлянцев. – Новосибирск : Издательство СО РАН, 2016. – 269 с.).....	207
<i>Ф.И. Иванов</i>	
Рецензия на монографию «Эволюция структуры и свойств легких сплавов при энергетических воздействиях», авторов В.Е. Громова, С.В. Коновалова, К.В. Аксеновой, Т.Ю. Кобзаревой	209
<i>А.В. Маркидонов</i>	
Рецензия на монографию «Эволюция структуры и свойств легких сплавов при энергетических воздействиях», авторов В.Е. Громова, С.В. Коновалова, К.В. Аксеновой, Т.Ю. Кобзаревой	211
<i>А.Н. Смирнов</i>	
Рецензия на серию монографий из двух книг «Водород и деформируемые сплавы Al - 1÷50% Si» и «Металлография чугуна» авторского коллектива под руководством профессора В.К. Афанасьева	213
<i>В.А. Москинов</i>	
Рецензия на серию монографий из двух книг «Водород и деформируемые сплавы Al - 1÷50% Si» и «Металлография чугуна» авторского коллектива под руководством профессора В.К. Афанасьева	214
<i>Е.П. Вольнкина</i>	
Рецензия на монографию Л.Б. Павлович, А.В. Салтанова, Н.Ю. Соловьевой «Утилизация отходов в коксохимическом производстве».....	216
<i>Б.И. Ермаченко</i>	
Рецензия на монографию «Новокузнецк. История создания генерального плана города». Автор: В.И. Магель – заслуженный архитектор РФ, профессор кафедры архитектуры СибГИУ.....	218
<i>Г.И. Стороженко</i>	
Рецензия на монографию «Новокузнецк. История создания генерального плана города». Автор: В.И. Магель	220
<i>А.А. Бабенко</i>	
Рецензия на учебное пособие «Энерготехнология твердого топлива» авторы Школлер М.Б., Протопопов Е.В., Юрьев А.Б.....	222
К 65-летию со дня рождения и 40-летию научной и педагогической деятельности Галевского Геннадия Владиславовича	2244
К 65-летию Андрея Ростиславовича Фастыковского.....	2266
К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ	2288

М.В. Темлянецв, К.С. Коноз, О.В. Кузнецова, Э.Я. Живаго,
В.Я. Целлермаер

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОКИСЛЕНИЯ РЕССОРНО-ПРУЖИННОЙ СТАЛИ МАРКИ 40С2 И ОСОБЕННОСТЕЙ СТРОЕНИЯ ЕЕ ОКАЛИНЫ

В статье представлены результаты исследования кинетики высокотемпературного окисления стали марки 40С2. Для осуществления прогнозных расчетов получено уравнение, позволяющее определить угар в зависимости от температуры и времени нагрева. Исследованы особенности строения, химического и фазового состава окарины, образующейся при высокотемпературном нагреве стали марки 40С2.

The article presents the results of a study of the kinetics of high-temperature oxidation grade steel 40S2. For the implementation of calculations of the derived equation to determine the heat depending on the temperature and time of heating. Investigated features of the structure, chemical and phase composition of the scale formed at high temperature by heating the steel grade 40S2.

Кремнистые стали получили широкое распространение для производства пружин, рессор различного назначения и упругих элементов железнодорожных креплений соединения рельсов со шпальной решеткой [1 – 3]. Круглый прокат для изготовления пружин получают посредством горячей прокатки непрерывнолитых заготовок, которые нагревают в методических печах. Высокотемпературный нагрев сопровождается окаринообразованием, приводящим к потерям металла и формированием на поверхности заготовок слоя окарины, который может приводить к снижению качества поверхности круглого проката [4, 5]. Существенную роль при этом играют строение и свойства образующейся окарины [5, 6]. При разработки технологии нагрева и назначении температурных режимов, обеспечивающих металлосберегающий нагрев [7 – 9] необходимы сведения о кинетике окисления стали. Поскольку точные аналитические решения для нахождения зависимости интенсивности окисления сталей различного химического состава отсутствуют единственным путем получения таких зависимостей является эмпирический. В связи с этим получение новой информации о кинетике высокотемпературного окисления пружинных сталей и особен-

ностей строения их окарины актуально и имеет большое практическое значение.

В данной работе проведено исследование кинетики высокотемпературного окисления стали марки 40С2 (химический состав, %: 0,377 С; 1,604 Si; 0,65 Mn; 0,204 Cr) и особенностей строения, фазового и химического состава ее окарины. Кинетику окисления исследовали с помощью гравиметрического метода на цилиндрических образцах диам. 11 мм, длиной 20 – 30 мм. Образцы вырезали из отрезков круглого проката. Перед вырезкой образцов стержни отжигали и обтачивали на токарном станке с целью полного удаления обезуглероженного слоя.

При проведении лабораторных экспериментов нагрев образцов до температур 850, 900, 950, 1000, 1050, 1100, 1150 и 1200 °С и выдержку при постоянной температуре поверхности в течении 5, 15 и 25 мин проводили в электрической печи сопротивления СУОЛ-0,25.1/12,5-И1 с нагревателями из карбида кремния в атмосфере воздуха.

Температуру образцов измеряли хромель-алюмелевой термопарой. Термопару устанавливали в высверленное отверстие в центре образца диаметром 3 мм и глубиной 12 мм. Температуры образца фиксировали с помощью прибора «Термодат19Е2».

До и после опытов геометрические размеры образцов измеряли штангенциркулем с точностью до 0,1 мм, массу определяли на весах Vibra AF-220SE с точностью до 0,1 мг. Для удаления окарины с поверхности образцы подвергали травлению в подогретом до 40 – 60 °С 10 %-ном растворе серной кислоты с добавлением 0,1 г/л тиомочевина.

При обработке экспериментальных данных считали, что зависимость угара (или толщины окисленного слоя) от времени подчиняется закону квадратного корня, который отражает диффузионный механизм окаринообразования, температура поверхности металла постоянна во времени и зависимость угара от температурно-временного фактора подчиняется следующему уравнению [4]:

$$Y = k\sqrt{\tau}, \quad (1)$$

где k – константа скорости окисления, г/(см² · мин^{0,5}); τ – время выдержки металла при постоянной температуре, мин.

Для соотношения (1) принимают, что константа скорости окисления подчиняется уравнению Аррениуса, которое можно представить в виде

$$k = A \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right), \quad (2)$$

где A – эмпирический коэффициент, зависящий от химического состава стали, состава атмосферы и других факторов, г/(см² · мин^{0,5}); Q – энергия активации или разрыхления решетки оксида, Дж/кмоль; $R = 8,3143$ – универсальная газовая постоянная, Дж/(кмоль · К); T – температура, К.

Принимая $B = Q/R$, соотношение (2) записывают в виде

$$k = A \exp\left(-\frac{B}{T}\right), \quad (3)$$

где коэффициент B имеет размерность К.

На рисунке 1 представлена зависимость угара Y стали марки 40С2 от температуры t и времени τ выдержки при постоянной температуре, построенная по результатам экспериментальных данных.

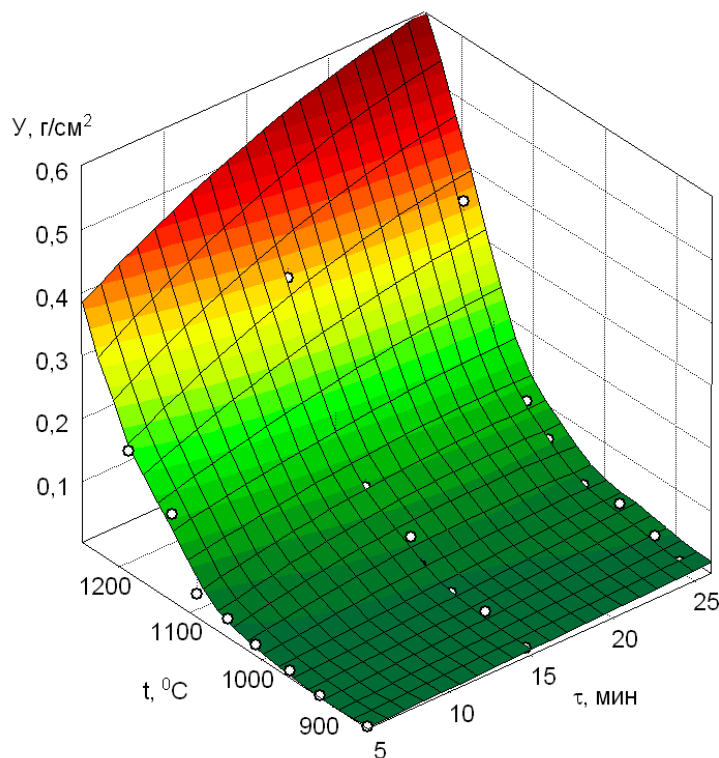


Рисунок 1 – Зависимость угара стали марки 40С2 от температуры и времени выдержки

Для прогнозных расчетов получена зависимость, позволяющая определить угар в зависимости от температуры и времени нагрева:

$$Y = 22371,9 \cdot \exp(-18435/T) \cdot \sqrt{\tau} \quad (4)$$

Анализ полученных результатов показывает, что температурно-временная зависимость угара стали марки 40С2 аналогична зависимостям, близким по химическому составу сталям марок 60С2 и 60С2ХА [4, 10, 11]. В области температур 1050 – 1100 °С наблюдается резкая интенсификация угара. Для стали марки 40С2 температура оказывает более сильное влияние на угар по сравнению со сталью марки 60С2ХА. В частности при времени выдержки 25 мин повышение температуры с 850 до 1175 °С для стали марки 40С2 сопровождается ростом угара с 0,016 до 0,367 г/см², т.е. почти в 23 раза, а для стали марки 60С2ХА с 0,019 до 0,270 г/см², т.е. в 14 раз. Для стали марки 40С2 в области температур 850 – 950 °С характер-

но менее интенсивное окалинообразование по сравнению со сталью марки 60С2ХА, а для температур более 1150 °С наоборот.

Исследование структуры, химического и фазового состава окарины проведено в НИТУ «МИСиС» на электронном сканирующем микроскопе TESCAN VEGA 3 с энергодисперсионной приставкой OXFORD AZtec для микрорентгеноспектрального анализа. Образцы для анализа были отобраны от пластинок окарины толщиной 1 – 1,5 мм с образцов, нагретых до 1175 °С, время выдержки составило 25 мин. После нагрева образцы с окариной охлаждали на атмосферном воздухе в условиях естественной конвекции.

На рисунке 2 представлен общий вид микроструктуры окарины. Слой гематита, граничащий с атмосферой печи имеет минимальную толщину – порядка 40 – 60 мкм, слой магнетита имеет толщину порядка 250 – 280 мкм, наибольшую толщину 800 – 900 мкм имеет слой вюститита с выделившимся при охлаждении вторичным магнетитом, граничащий с поверхностью стали.

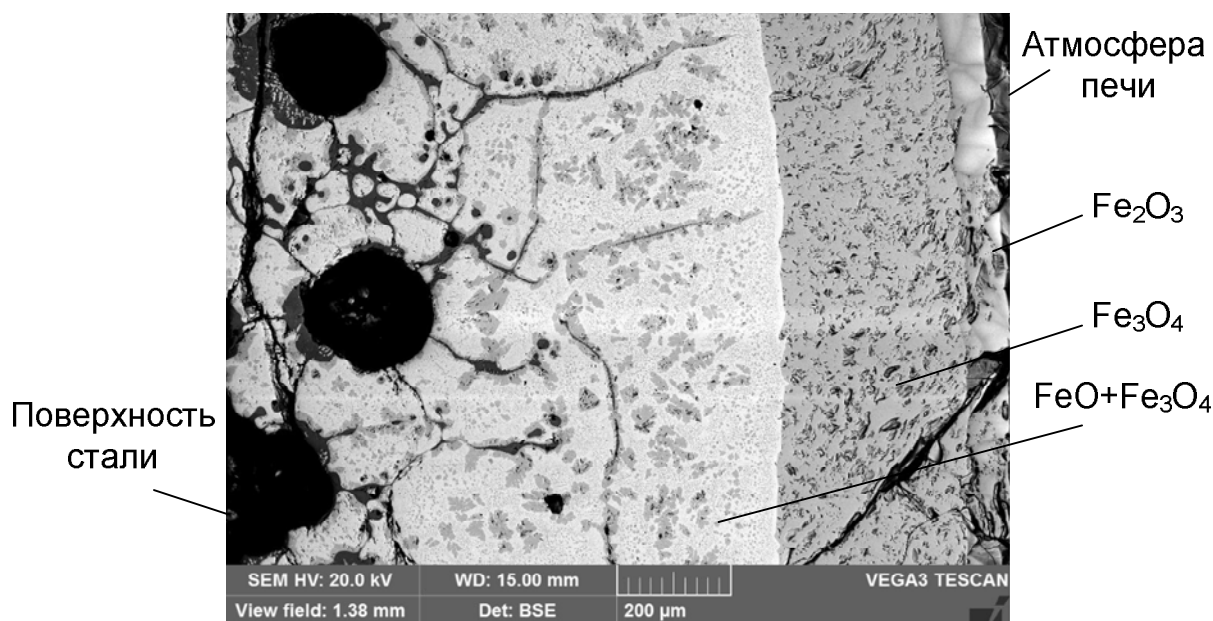


Рисунок 2 – Микроструктура окарины

Химический и фазовый составы слоев гематита и магнетита относительно равномерны по толщине и периметру (рисунок 3). В таблице 1 представлены их составы в различных точках слоев.

Слой окарины, прилегающий к поверхности стали (рисунок 4) характеризуется гораздо большей макроструктурной, химической и фазовой неоднородностью (таблица 2). Помимо вюститито-магнетитовой смеси присутствуют силикаты железа, характеризующиеся повышенным (до 13 % масс.) содержанием кремния.

По мере приближения к поверхности стали количество участков, обогащенных кремнием увеличивается

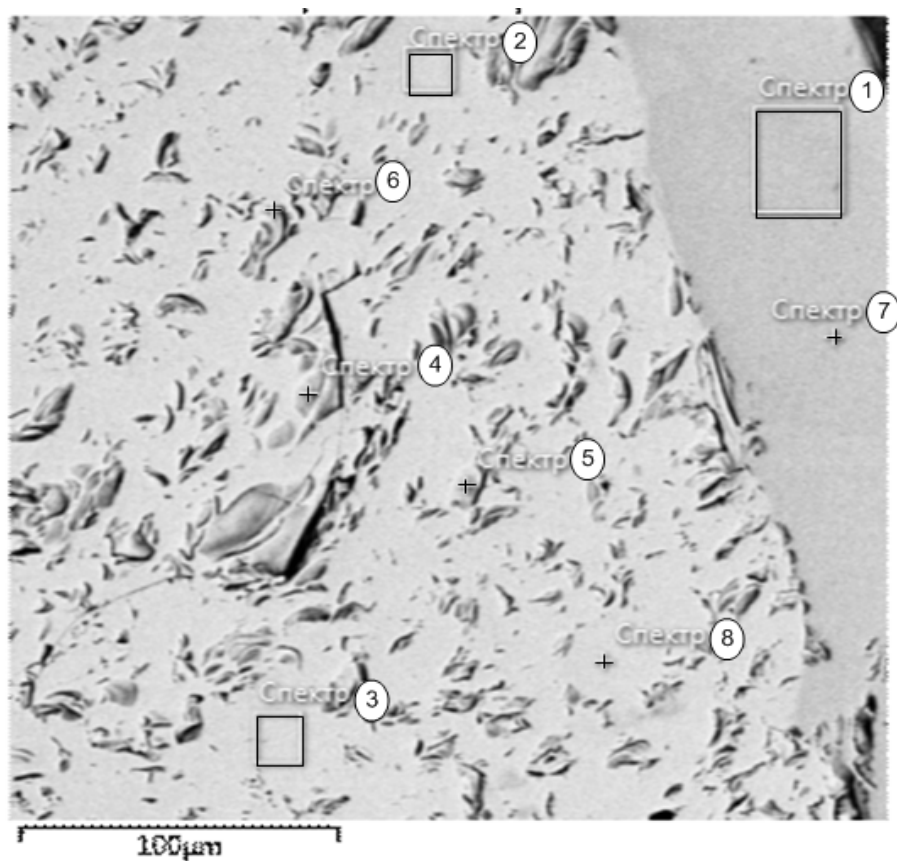


Рисунок 3 – Микроструктура слоев гематита и магнетита

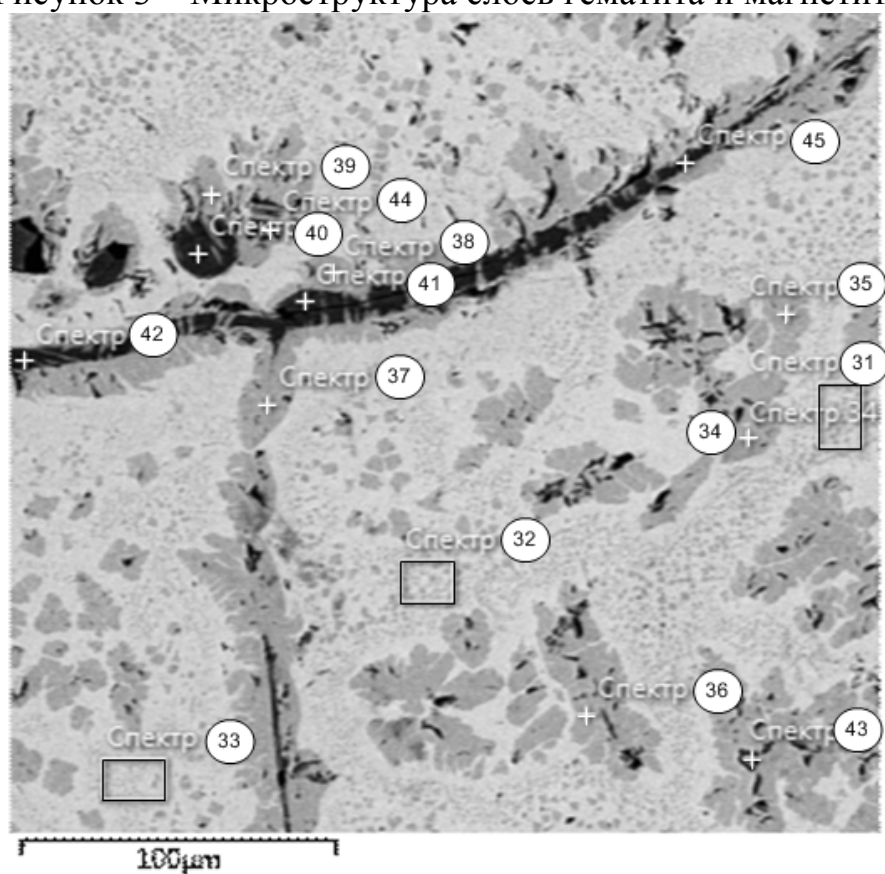


Рисунок 4 – Микроструктура слоя вюститита с выделившимся при охлаждении вторичным магнетитом

Таблица 1 – Химический состав (масс. %) слоев гематита и магнетита

№ спектра	O	Si	P	S	Mn	Fe	Сумма
1 гематит	33,52	0,09	0	0	0,08	66,31	100
7 гематит	34,11	0,06	0,03	0	0,1	65,7	100
2 магнетит	31,37	0	0,02	0,03	0,44	68,14	100
3 магнетит	31,17	0,06	0	0,02	0,52	68,23	100
4 магнетит	31,52	0	0	0,03	0,42	68,02	100
5 магнетит	31,21	0,02	0	0,01	0,45	68,3	100
6 магнетит	31,86	0,02	0	0,01	0,37	67,74	100
8 магнетит	30,19	0,12	0,03	0,03	0,48	69,16	100

Таблица 2 – Химический состав (масс. %) слоя вюститита с выделившимся при охлаждении вторичным магнетитом

№ спектра	O	Si	P	S	Mn	Fe	Cu	Mo	Сумма
31 вюстит+магнетит	27,58	0,4	0	0,03	0,55	71,44	–	–	100
32 вюстит+магнетит	27,97	0,06	0,02	0,05	0,42	71,49	–	–	100
33 вюстит+магнетит	27,37	0,04	0,01	0,03	0,43	72,12	–	–	100
34 вюстит+магнетит	31,02	0,02	0	0,05	0,42	68,5	–	–	100
35 вюстит+магнетит	31,77	0,44	0,02	0	0,35	67,43	–	–	100
36 вюстит+магнетит	31,44	0,01	0,01	0,02	0,4	68,12	–	–	100
37 вюстит+магнетит	31,24	0,3	0,02	0	0,31	68,12	–	–	100
38 вюстит+магнетит	31,1	0,33	0	0,04	0,35	68,17	–	–	100
39 вюстит+магнетит	31,67	0,22	0	0	0,36	67,75	–	–	100
40 силикаты железа	36,74	13,58	0,08	0,03	1,61	47,96	–	–	100
41 силикаты железа	36,26	13,48	0,14	0	1,65	48,47	–	–	100
42 силикаты железа	36,04	13,34	0,14	0	1,35	49,14	–	–	100
45 силикаты железа	31,87	7,39	0,01	0,02	1,09	59,62	–	–	100
43 силикаты железа	26,72	2,12	0	0,05	0,3	70,24	0,22	0,35	100
44 силикаты железа	31,77	1,61	0,04	0,04	0,45	66,09	–	–	100

Выводы: Исследовано влияние температурно-временного фактора на кинетику окисления кремнистой рессорно-пружинной стали марки 40С2. Для осуществления прогнозных расчетов получено уравнение, позволяющее определить угар в зависимости от температуры и времени нагрева. Установлено, что в области температур 1050 – 1100 °С наблюдается резкая интенсификация угара, для стали марки 40С2 в области температур 850 – 950 °С характерно менее интенсивное окалинообразование по сравнению со сталью марки 60С2ХА, а для температур более 1150 °С наоборот. С применением электронной сканирующей микроскопии исследовано строение окарины. Установлено, что слой гематита, граничащий с атмосферой печи имеет минимальную толщину – порядка 40 – 60 мкм, слой магнетита имеет толщину порядка 250 – 280 мкм, наибольшую толщину 800 – 900 мкм имеет слой вюститита с выделившимся при охлаждении вторичным магнетитом, граничащий с поверхностью стали. Химический и фазовый

составы слоев гематита и магнетита относительно равномерны по толщине и периметру. Слой окалины, прилегающий к поверхности стали характеризуется гораздо большей макроструктурной, химической и фазовой неоднородностью. Помимо вюститно-магнетитовой смеси присутствуют силикаты железа, характеризующиеся повышенным содержанием кремния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рахштадт А.Г. Пружинные стали и сплавы. – М. : Металлургия, 1984. – 359 с.
2. Технология производства прутковых пружинных клемм / С.А. Семихатский, Ю.А. Панфилов, А.И. Кузнецова, Д.А. Шушарин // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2006. – № 10. – С. 43 – 48.
3. Федин В.М. Объемно-поверхностная закалка деталей подвижного состава и верхнего строения пути. – М.: Интекст, 2002. – 2008.
4. Темлянцев М.В., Михайленко Ю.Е. Окисление и обезуглероживание стали в процессах нагрева под обработку давлением. – М. : Теплотехник, 2006. – 200 с.
5. Нагрев стальных слябов / Перетяtko В.Н., Темлянцев Н.В., Темлянцев М.В., Михайленко Ю.Е. – М.: Теплотехник, 2008. – 192 с.
6. Перетяtko В.Н., Темлянцев Н.В. Исследование влияния строения поверхностных слоев стали на удаление окалины после высокотемпературного нагрева слябов под прокатку // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. – Новокузнецк: СибГИУ, 2006. – Вып. 16. – С. 63 – 70.
7. Нагрев под прокатку непрерывнолитых заготовок рельсовой электростали / М.В. Темлянцев, В.В. Гаврилов, Л.В. Корнева, А.Ю. Сюсюкин, Н.В. Темлянцев // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2005. – № 6. – С. 69, 70.
8. О выборе температурных режимов нагрева под прокатку непрерывно литых заготовок рельсовой электростали / М.В. Темлянцев, В.В. Гаврилов, Л.В. Корнева, Л.Т. Кожеурова // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2005. – № 12. – С. 47 – 49.
9. Филиппова М.В., Перетяtko В.Н., Темлянцев М.В. Разработка и внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий обработки металлов давлением. – Новосибирск: Издательство Сибирского отделения РАН, 2016. – 269 с.
10. Темлянцев М.В., Темлянцев Н.В. Высокотемпературное окисление и обезуглероживание кремнистых пружинных сталей // Заготовительные производства в машиностроении. – 2005. – №3. – С. 50–52.
11. Высокотемпературное окисление и обезуглероживание рессорно-пружинной стали марки 60С2ХА / М.В. Темлянцев, К.С. Слажнева, А.Ю. Дзюба, А.А. Уманский, Н.В. Темлянцев // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. – Новокузнецк: СибГИУ, 2014. – Вып.33. – С. 55–63.

**Вестник горно-металлургической секции РАЕН.
Отделение металлургии**

Сборник научных трудов

Компьютерный набор Темлянцева Е.Н.

Подписано в печать 22.09.2017 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл.печ.л. 13,5 Уч.-изд.л. 14,4 Тираж 300 экз. Заказ № 447

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.
Издательский центр СибГИУ