
**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»**

**НАУКА И МОЛОДЕЖЬ:
ПРОБЛЕМЫ, ПОИСКИ, РЕШЕНИЯ**

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ВЫПУСК 27

*Труды Всероссийской научной конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
16 – 17 мая 2023 г.*

ЧАСТЬ I

Под общей редакцией профессора С.В. Коновалова

ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЕ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ <i>Пимахин А.В., Осколкова Т.Н.</i>	218
ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ГОМОГЕНИЗАЦИИ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТРАНСФОРМАЦИИ ФАЗЫ Al_3FeSi В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СЛИТКАХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al-Mg-Si <i>Коробейников Д.В., Попова М.В.</i>	223
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СПЛАВА AL-15% SI ПОСЛЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ВОДОРОДОМ <i>Ломиворотов Н.П., Попова М.В.</i>	228
АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СИЛУМИНОВ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО СОСТАВА <i>Ломиворотов Н.П., Полунин А.М., Попова М.В.</i>	234
ОСОБЕННОСТИ МЕТАЛЛОГРАФИИ И ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ МЕДИСТЫХ СИЛУМИНОВ <i>Полунин А.М., Попова М.В.</i>	240
ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СПЛАВОВ Al-Mg-Si <i>Попова М.В., Михеева М.В., Караваева К.А.</i>	245
ВЛИЯНИЕ ВИДА ДЕФОРМАЦИИ НА СВОЙСТВА ЗАГОТОВОК ИЗ ЛЕГИРОВАННОГО ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА <i>Прудников В.А., Рексиус В.С., Прудников А.Н.</i>	250
СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СЛИТКОВ И ПРЕССОВОК ИЗ ЛЕГИРОВАННОГО ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА <i>Прудников В.А., Шелтреков М.О., Прудников А.Н.</i>	253
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ <i>Алексеева Е.А., Кибко Н.В.</i>	257
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК <i>Михно А.Р., Махнев И.А., Крюков Р.Е., Панченко И.А.</i>	260
5D-ПЕЧАТЬ. АДДИТИВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО <i>Коток М.М., Коновалов С.В., Панченко И.А.</i>	264
III ЭКОЛОГИЯ. БЕЗОПАСНОСТЬ. РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ	266
ВСКРЫШНЫЕ ПОРОДЫ УГЛЕДОБЫЧИ – ПЕРСПЕКТИВНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Царева Е.Е., Коротков С.Г.</i>	266
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАЩЕНИЯ СО ВСКРЫШНЫМИ ПОРОДАМИ <i>Царева Е.Е., Коротков С.Г.</i>	270
МАЛАКОФАУНИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ – КАК ОДИН ИЗ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ И КОРРЕЛЯЦИИ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ <i>Лысенко Н.Е., Тетерина И.И.</i>	273

ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЕ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ

Пимахин А.В., Осколкова Т.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: avp730@yandex.ru*

В статье представлен обзор статей, связанный с обезуглероживанием рельсовых сталей при нагреве. Выявлены основные факторы, влияющие на процесс обезуглероживания, а также изменение свойств рельсовых сталей при обезуглероживании после нагрева.

Ключевые слова: обезуглероживание, сталь, непрерывно-литая заготовка, рельсы, микроструктура, нагрев.

Рельсы являются важным элементом железнодорожного полотна, от исправного содержания которого зависит безопасность движения поездов. В настоящее время достигнут определенный прогресс по повышению качества и свойств рельсов. В первую очередь он связан с совершенствованием технологий выплавки, раскисления и внепечной обработки стали, переходом на непрерывную разливку [1]. Вместе с тем, не решен окончательно вопрос, связанный с обезуглероживанием рельсовых сталей в процессе нагрева. С одной стороны, для низкоуглеродистых сталей формирование обезуглероженного слоя приводит к меньшей склонности образования разрывов, отмечается высокая пластичность и вязкость [2]. С другой стороны, снижение концентрации углерода в поверхностных слоях может привести к снижению твердости, увеличивается износ при эксплуатации рельсов, приводит к образованию усталостных трещин [3 – 6]. Намины от накладок, являясь концентраторами напряжений, приводят к образованию трещин под головкой рельса. Неравномерное распределение углерода в поверхностных слоях подошвы приводит к различной интенсивности коррозионных процессов, что в свою очередь оказывает отрицательное влияние на долговечность рельсов [7, 8].

Нагрев металла перед прокаткой сопровождается окалинообразованием и обезуглероживанием поверхностной зоны, при этом диффузионные процессы, связанные с обезуглероживанием металла, протекают быстрее, чем окалинообразование [9]. Образцы, вырезанные из головки рельса Р 65 промышленного производства, подвергали нагреву до 1150 °С (что соответствует температуре прокатки) с разными выдержками (0; 30 и 70 минут) [10].

Металлографические исследования образца без выдержки выявили наличие тонкой разорванной сетки феррита. Увеличение выдержки до 30 и 70 минут приводит к образованию сплошной ферритной сетки и превышает глубину обезуглероженного слоя, при этом увеличения аустенитного зерна не наблюдается. Данные о глубине обезуглероженного слоя после выдержки различной продолжительности при 1150 °С представлены в таблице 1 [10].

Измерение микротвердости образцов при нагрузке 0,5Н показали её

снижение, начиная с глубины 1,0 – 1,2 мм, причем, это снижение по мере приближения к поверхности увеличивается. Разница микротвердости вблизи поверхности для образцов № 1 и № 3 составляет 40 единиц [10].

Таблица 1 - Глубина обезуглероженного слоя рельсовой стали [10].

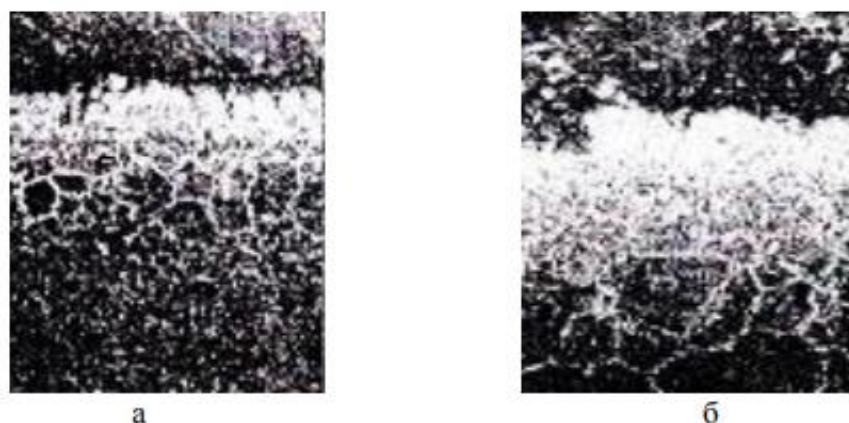
Образцы	Длительность выдержки, мин.	Глубина обезуглеро- женного слоя, мм
№ 1	0	0,3 – 0,7
№ 2	30	0,7 – 1,0
№ 3	70	0,8 – 1,0

Результаты испытаний образцов на растяжение согласуется с данными исследования микротвердости. Увеличение глубины обезуглероженного слоя снижает предел текучести $\sigma_{0,2}$ на величину около 80 МПа, а временное сопротивление разрыву σ_b – 75 МПа [10].

В работе [11] исследовано влияние температурно-временного фактора на процессы обезуглероживания рельсовой стали состава 0,71 – 0,82 % C; 0,75 – 1,05 % Mn; 0,18 – 0,40 % Si, применяемой для изготовления железнодорожных рельсов типа Р65, Р75. Образцы из этой стали нагревали до температур 950, 1050, 1150, и 1250 – 1275 °С и выдерживали при данных температурах в течение 10, 35 и 60 минут в атмосфере печи. В образцах, нагретых до 950 °С и выдержанных в течение 25 – 30 минут, видимое обезуглероживание отсутствует, увеличение времени выдержки до 35 – 40 минут приводит к возникновению обезуглероженных локальных участков в виде ферритной сетки по границам зерен, а при выдержке 60 – 65 минут формируется обезуглероженный слой толщиной 0,10 – 0,15 мм. Образование поверхностного слоя стали с полным обезуглероживанием зафиксировано при температуре 1050 °С и выдержке 30 минут и более (рисунок 1). При температуре 1150 °С наблюдается полностью обезуглероженный поверхностный слой, за которым располагается видманшtedтовская структура, характерная для доэвтектоидных сталей после ускоренного охлаждения (на воздухе) от температур аустенитизации выше 1100 – 1150 °С (рисунок 1) [12, 13].

При нагреве перед прокаткой заготовок или слитков процессы окалинообразования и обезуглероживания металла протекают в печи параллельно и взаимосвязанно [14 – 16].

При нагреве под прокатку непрерывно-литых заготовок рельсовой электростали марки Э76Ф [17, 18] (ГОСТ 51685 – 2000) до температур 1250 – 1370 °С с выдержками 3 – 9 часов выявлено, что увеличение продолжительности выдержки стали приводит к увеличению глубины обезуглероженного слоя (рисунок 2), а повышение температуры нагрева несколько снижает её, что связано с интенсификацией окисления и, как следствие, с поглощением обезуглероженного слоя окалиной [19, 20].



а – $t = 1050\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 60\text{ мин.}$; б – $t = 1150\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 60\text{ мин.}$

Рисунок 1 – Микроструктура обезуглероженного слоя рельсовой стали, $\times 150$, фотомасштаб 1 : 3 [11]

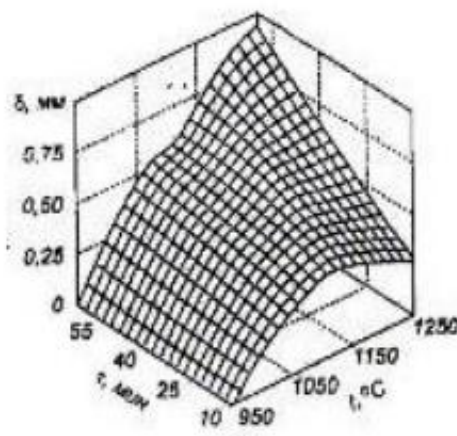
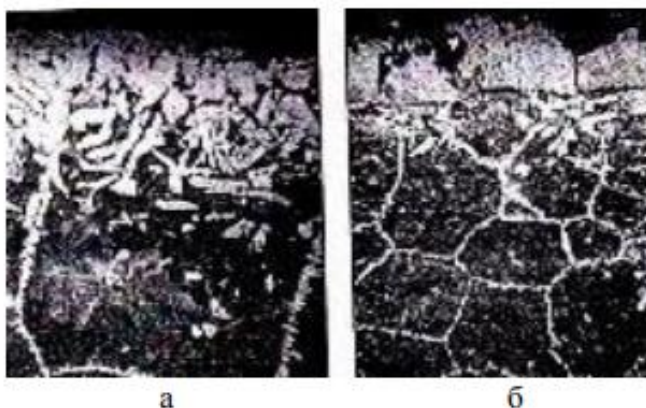


Рисунок 2 – Зависимость глубины обезуглероженного слоя стали Э76Ф от температуры и времени выдержки [20]

На процесс обезуглероживания существенно влияет степень деформации при прокатке, а также, из каких слитков получены рельсы. Так, производство рельсов из слитков показывает, что толщина обезуглероженного слоя в области головки неравномерна и в среднем составляет 0,3 – 0,5 мм [21]. Поверхностное обезуглероживание, полученное из непрерывно-литой заготовки, может достигать 1,5 – 2,0 мм [1]. Работой [21] установлено, что распределение обезуглероженного слоя по периметру рельса определяется особенностями его деформирования в процессе прокатки. При существующей на НКМК калибровке и способе прокатки 25-метровых рельсов шейка претерпевает наиболее интенсивную деформацию (проработку), головка – наименьшую. Сопоставление результатов промышленных опытов по выработке поверхностных дефектов [22] и толщиной обезуглероженного слоя у

рельсов, полученных из разных слитков, показывает, что между этими факторами существует прямая связь, в частности, в области шейки выработка достигает фактически 100 %, в области головки – всего 75 %. Максимальная толщина обезуглероженного слоя характерна для участков контура, не контактирующих с поверхностью калибра, а минимальная – для участков, подвергающихся наибольшей деформации. Таким образом, толщина поверхностного обезуглероженного слоя рельсов, произведенных из непрерывно-литых заготовок, для различных участков профиля в 1,5 – 3 раза больше, чем у рельсов, полученных из слитков. Максимальная толщина обезуглероженного слоя характерна для участков контура, не контактирующих с поверхностью калибра, а минимальная – для участков, подвергающихся наибольшей высотной деформации.

Процесс обезуглероживания зависит также от типов нагревательных устройств, где происходит нагрев заготовок. В работе [23] рассматривается вопрос обезуглероживания непрерывно-литых заготовок стали марки Э76Ф при нагреве до температур 1250 – 1270 °С в нагревательных колодцах и печах Сименса, а также в печах с шагающими балками. Глубина обезуглероженного слоя непрерывно-литых заготовок, нагретых в нагревательных колодцах и печах Сименса составляет 1,54 – 3,08 мм при среднем значении 2,31 мм. После нагрева непрерывно-литых заготовок в печах с шагающими балками глубина обезуглероженного слоя колеблется в пределах 0,77 – 2,00 мм при среднем значении 1,39 мм. На рисунке 3 представлены микроструктуры поверхностных слоев непрерывно-литых заготовок после нагрева в разных нагревательных устройствах. По сравнению с технологией нагрева заготовок в нагревательных колодцах и печах Сименса при нагреве заготовок в печах с шагающими балками средняя глубина обезуглероженного слоя меньше на 0,92 мм. При нагреве непрерывно-литых заготовок в печи с шагающими балками зерно в стали становится мельче [23].



а – нагревательные колодцы и печи Сименса; б – печи с шагающими балками
Рисунок 3 – Микроструктура поверхностных слоев непрерывно-литых заготовок, нагретых в разных нагревательных устройствах, х 100 [23]

Таким образом, установлено, что процесс обезуглероживания зависит от многих факторов, в частности, от температурно-временных условий, степени деформации при прокатке, от типов нагревательных устройств, где происходит нагрев заготовок.

Библиографический список

1. Производство рельсов из электростали / Н.А. Козырев, В.П. Дементьев. – Новокузнецк: Изд-во ИПК, 2000. – 267 с.
2. Технология производства железнодорожных рельсов и колес / В.Ф. Карпенко, Ю.М. Таптыгин, Н.Ф. Левченко, В.Н. Бардусов // Отраслевой сб. науч. тр. – Харьков: Изд-во УкрНИИ мет, 1989. С 11 – 16.
3. Основные направления развития производства рельсов на ОАО «НКМК» / А.Б. Юрьев, Н.Х. Мухатдинов, Н.А. Козырев, Л.В. Корнева // Сталь. – № 1. – С. 99 – 100.
4. Некоторые вопросы динамики обезуглероживания и науглероживания / И.В. Гусовская, А.И. Ващенко, Л.А. Шульц // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1974. – № 1. – С. 179 – 184.
5. Повреждение рельсов / Е.А. Шур. – М.: Транспорт, 1971. – 112 с.
6. Дефекты и качество рельсовой стали / В.В. Павлов, М.В. Темлянец, Л.В. Корнева, Т.Н. Осколкова, В.В. Гаврилов. – М.: Теплотехник, 2006. – 218 с.
7. Неразрушающий контроль рельсов при их эксплуатации и ремонте / А.К. Гурвич, Б.П. Довнар, В.Б. Козлов [и др.]. – М.: Транспорт, 1983. – 318 с.
8. Курс теории коррозии и защиты металлов / Н.П. Жук. – М.: Металлургия, 1976. – 472 с.
9. Математическая модель окалинообразования и обезуглероживания металла в процессе нагрева / А.В. Коновалов, О.Ю. Муйземнек // Металлы. 2000. – № 4. – С. 40 – 43.
10. Влияние обезуглероженного слоя на качество поверхности рельсов / Д.К. Нестеров, В.Ф. Карпенко, Н.Ф. Левченко [и др.] // Бюл. НТИ. Черная металлургия. 1992. – № 1. – С. 33 – 35.
11. Исследование окисления и обезуглероживания сталей для рельсов и рельсовых накладок при нагреве под прокатку / М.В. Темлянец, В.С. Стариков, Н.В. Темлянец, А.Ю. Сюсюкин // Известия вузов. Черная металлургия. 2004. – № 8. – С. 36 – 38.
12. Металловедение и термическая обработка стали. Т.2 Основы термической обработки / Под ред. Б.Л. Бернштейна, А.Г. Рахштадта. – М.: Металлургия, 1983. – 368 с.
13. Практическая металлография / Р.И. Малинина, Е.С. Малютина, В.Ю. Новиков [и др.]. – М.: Интермет Инжиниринг, 2002. – 240 с.
14. Окисление и обезуглероживание стали в процессах нагрева под обработку давлением / М.В. Темлянец, Ю.Е. Михайленко. – М.: Теплотехник, 2006. – 200 с.
15. Исследование процессов окисления и обезуглероживания стали при

нагреве / М.В. Темлянец // Сталь. 2007. – 3. – С. 58 – 60.

16. Управление нагревом металла / А.Г. Бутковский, С.А. Малый, Ю.Н. Андреев. – М.: Металлургия, 1981. – 272 с.

17. Ванадий в черной металлургии / Н.П. Слотвинский-Сидак, Ю.Л. Плинер, С.И. Лаппо. – М.: Металлургия, 1983. – 192 с.

18. Ванадий в стали / И.Н. Голиков, М.И. Гольдштейн, И.И. Мурзин. – М.: Металлургия, 1968. – 291 с.

19. О выборе температурных режимов нагрева под прокатку непрерывно-литых заготовок рельсовой электростали / М.В. Темлянец, В.В. Гаврилов, Л.В. Корнева, Л.Т. Кожеурова // Известия вузов. Черная металлургия. 2005. – № 12. – С. 47 – 49.

20. Нагрев под прокатку непрерывно литых заготовок рельсовой электростали / Темлянец М.В., Гаврилов В.В., Корнева Л.В., Сюсюкин А.Ю., Темлянец Н.В. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2005. – № 6. – С. 51 – 53.

21. Металлографическое исследование поверхностного обезуглероженного слоя рельсов / М.В. Темлянец, А.Ю. Сюсюкин, Н.В. Темлянец // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2005. – № 8. – С. 37 – 40.

22. Выработка поверхностных дефектов при прокатке / Е.Р. Браунштейн, В.Н. Перетягко // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1997. – № 8. – С. 32 – 35.

23. Определение угара и обезуглероживания непрерывно-литых заготовок рельсовой стали при нагреве в методических печах с шагающими балками / М.В. Темлянец, Е.А. Колотов, А.Ю. Сюсюкин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2006. – № 12. – С. 62 – 63.

УДК 669.715: 621.78

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ГОМОГЕНИЗАЦИИ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТРАНСФОРМАЦИИ ФАЗЫ Al_5FeSi В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СЛИТКАХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ $Al-Mg-Si$

Коробейников Д.В., Попова М.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: den.087@mail.ru*

Приведены результаты исследования влияния температуры и длительности гомогенизации слитков сплавов серии бxxx на изменение морфологии железосодержащих интерметаллидов. Установлено, что после нагрева при 575-580°C и выдержки в течение 1,5-2,0 часов коэффициент трансформации игольчатой β -фазы (Al_5FeSi) в глобулярную и компактную α -фазу (Al_8Fe_2Si) равен 95 % и выше.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, микроструктура, железосо-