

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Научный журнал

ВЕСТНИК
Сибирского государственного
индустриального университета

№ 2 (48), 2024

Издается с июня 2012 года
Выходит 4 раза в год

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

Scientific journal

BULLETIN
of the Siberian State Industrial University

No. 2 (48), 2024

Published since June 2012
It is published 4 times a year

Учредитель

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет»

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации:

ПИ № ФС77-77872 от 03.03.2020 г.

Адрес редакции:

Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, Центральный район, ул. Кирова, зд. 42, Сибирский государственный индустриальный университет
каб. 433 М, тел. 8-3843-74-86-28
[http: www.sibsiu.ru](http://www.sibsiu.ru)
e-mail: vestnicsibgiu@sibsiu.ru

Адрес издателя:

Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, Центральный район, ул. Кирова, зд. 42, Сибирский государственный индустриальный университет
каб. 336 Г, тел. 8-3843-46-35-02
e-mail: rector@sibsiu.ru

Адрес типографии:

Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, Центральный район, ул. Кирова, зд. 42, Сибирский государственный индустриальный университет
каб. 280 Г, тел. 8-3843-46-44-02

Подписные индексы:

Объединенный каталог «Пресса России» – 41270

Founder

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Siberian State Industrial University»

The journal is registered with the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications (Roskomnadzor)

Certificate of registration:

PI No. FS77-77872 dated **03.03.2020**

Editorial office address:

42 Kirova Str., Central district, Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass, 654007, Russian Federation, Siberian State Industrial University office 433 M, tel. 8-3843-74-86-28
[http: www.sibsiu.ru](http://www.sibsiu.ru)
e-mail: vestnicsibgiu@sibsiu.ru

Publisher's address:

42 Kirova Str., Central district, Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass, 654007, Russian Federation, Siberian State Industrial University office 336 G, tel. 8-3843-46-35-02
e-mail: rector@sibsiu.ru

Printing house address:

42 Kirova Str., Central district, Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass, 654007, Russian Federation, Siberian State Industrial University office 280 G, tel. 8-3843-46-44-02

Subscription indexes:

United catalog «Press of Russia» – 41270

Подписано в печать

30.06.2024 г.

Выход в свет

30.06.2024 г.

Формат бумаги 60×88 1/8.

Бумага писчая.

Печать офсетная.

Усл. печ. л. 5,2.

Уч.-изд. л. 5,6.

Тираж 300 экз.

Заказ № 137.

Цена свободная

Signed to the press

30.06.2024

Coming out

30.06.2024

The paper size is 60×88 1/8.

Writing paper.

Offset printing.

Usl. pech. l. 5,2.

Uch.-ed. l. 5,6.

The circulation is 300 copies.

Order no. 137.

The price is free

Краткое сообщение

УДК 621:538.911:538.951

DOI: 10.57070/2304-4497-2024-2(48)-136-140

**ИССЛЕДОВАНИЕ УГАРА РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ Э90ХАФ ПРИ НАГРЕВЕ
ПОД ПРОКАТКУ**

© 2024 г. А. В. Пимахин А.В., Т. Н. Осколкова, О. В. Кузнецова, М. В. Темлянцев,
Е. Н. Темлянцева, Е. М. Запольская

Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

Аннотация. Представлены результаты лабораторных исследований окисления рельсовой стали марки Э90ХАФ при нагреве до температур 800 – 1200 °С. Угар стали определяли с помощью гравиметрического метода (по потере массы образцов). При проведении лабораторных экспериментов использовали образцы размером 10 × 10 × (2 ÷ 26) мм. Нагрев образцов проводили в электрической печи сопротивления СУОЛ-0,25.1/12,5-И1 с нагревателями из карбида кремния в атмосфере воздуха. Нагрев проводили до температур 800, 850, 900, 950, 1000, 1050, 1100, 1150 и 1200 °С и выдерживали при постоянной температуре в течение 10, 30 и 50 мин. Для прогнозных расчетов угара получена зависимость, позволяющая определить потери массы стали в зависимости от температуры и времени нагрева. Установлено, что увеличение температуры от 800 до 1200 °С и времени выдержки от 10 до 50 мин. приводит к росту угара с 0,004 до 0,199 г/см², то есть фактически в 50 раз. Наибольший эффект оказывает рост температуры. Закономерности влияния температурно-временного фактора на угар рельсовой стали хорошо согласуются с теоретическими представлениями о высокотемпературном окислении железо-углеродистых сплавов.

Ключевые слова: рельсовая сталь, нагрев под прокатку, угар стали

Для цитирования: Пимахин А.В., Осколкова Т.Н., Кузнецова О.В., Темлянцев М.В., Темлянцева Е.Н., Запольская Е.М. Исследование угара рельсовой стали Э90ХАФ при нагреве под прокатку. *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2024;2(48):136–140. [http://doi.org/10.57070/2304-4497-2024-2\(48\)-136-140](http://doi.org/10.57070/2304-4497-2024-2(48)-136-140)

Short report

**INVESTIGATION OF THE CARBON MONOXIDE OF E90AF RAIL STEEL WHEN
HEATED FOR ROLLING**

© 2024 A. V. Pimakhin, T. N. Oskolkova, O. V. Kuznetsova, M. V. Temlyantsev,
E. N. Temlyantseva, E. M. Zapol'skaya

Siberian State Industrial University (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass, 654007, Russian Federation)

Abstract. The paper studies the regularities of structure formation in samples of titanium alloy Ti–6Al–4V obtained by additive wire-feed electron beam manufacturing and undergone to friction stir processing. The studies conducted show that during the processing there is an intensive interaction between the tool and the material, which leads to significant changes in the structure of the stir zone. The interaction between the nickel-base superalloy tool and the material is of an adhesive, mechanical, thermal and diffusion nature. Its characteristics determine the formation of the structure and material properties of the stir zone and, consequently, of the obtained parts. For this reason, in this study, the main defects and inhomogeneities formed in the stirred zone of the samples have been considered in comparison with the processes occurring in the area of contact between the tool and the material. The main changes in the structure of the titanium alloy

Ti–6Al–4V after friction stir processing, caused by its interaction with the nickel tool, are formed in the areas of the stir zone with a composite structure with a high local volume fraction of intermetallic phases. During processing, the tool can be excessively penetrated in the material in such a way that it touches the substrate in the lower part of the plate. Even a slight penetration of the tool into the substrate leads to the penetration of steel particles into the stir zone due to the vertical flow of material in the stir zone. The described changes with the formation of a number of inhomogeneities and defects in the structure after processing lead to a decrease in the plasticity and strength of the samples in comparison with the material with a defect-free structure.

Keywords: rail steel, heating for rolling, carbon steel

For citation: Pimakhin A.V., Oskolkova T.N., Kuznetsova O.V., Temlyantsev M.V., Temlyantseva E.N., Zapol'skaya E.M. Investigation of the carbon monoxide of E90AF rail steel when heated for rolling. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*. 2024;2(48):136–140. (In Russ.). [http://doi.org/10.57070/2304-4497-2024-2\(48\)-136-140](http://doi.org/10.57070/2304-4497-2024-2(48)-136-140)

Производство железнодорожных рельсов для стран с развитой сетью железных дорог имеет стратегическое значение [1]. От качества и комплекса эксплуатационных свойств рельсовой продукции в значительной степени зависит безопасность и экономичность железнодорожных перевозок [2; 3]. В таких условиях ресурсоемкость производства рельсов является индикатором прогрессивности используемых металлургических технологий.

Мировые тенденции свидетельствуют о повышении нагрузок на ось и грузонапряженность в грузовом железнодорожном движении, увеличении скоростей пассажирских поездов. Это приводит к ужесточению условий эксплуатации и росту повреждаемости рельсов [4 – 6]. В таких условиях сортамент рельсовой продукции непрерывно расширяется, а требования к качеству и свойствам рельсов постоянно растут [7; 8].

Одной из важных технологических стадий производства рельсов является нагрев непрерывнолитых заготовок и прокатка металла. При нагреве непрерывнолитых заготовок в методических печах и последующей прокатке, вследствие взаимодействия стали с печной атмосферой и воздушной средой происходят безвозвратные потери полезной массы металла из-за окисления (угара). Окалина, образующаяся на поверхности непрерывнолитых заготовок, может стать причиной снижения качества рельсов, образования поверхностных дефектов [9 – 11].

Перспективной разработкой отечественных производителей является дифференцированно термоупрочненные рельсы повышенной износостойкости и контактной выносливости категории ДТЗ70ИК [7; 8]. Для их производства применяют сталь марки Э90ХАФ с содержанием элементов, % (по массе): 0,83 – 0,95 С; 0,75 – 1,25 Мн; 0,25 – 0,60 Si; 0,20 – 0,60 Cr; 0,08 – 0,15 V; 0,010 – 0,020 N; менее 0,020 P; менее 0,020 S; менее 0,004 Al. Для разработки малоокислитель-

ных металлосберегающих режимов нагрева непрерывнолитых заготовок под прокатку в методических печах с шагающими балками практический интерес представляет кинетика высокотемпературного окисления и закономерности влияния температурно-временного фактора на угар стали [9].

Проведена серия лабораторных экспериментов по исследованию угара рельсовой стали марки Э90ХАФ при температурах нагрева 800 – 1200 °С.

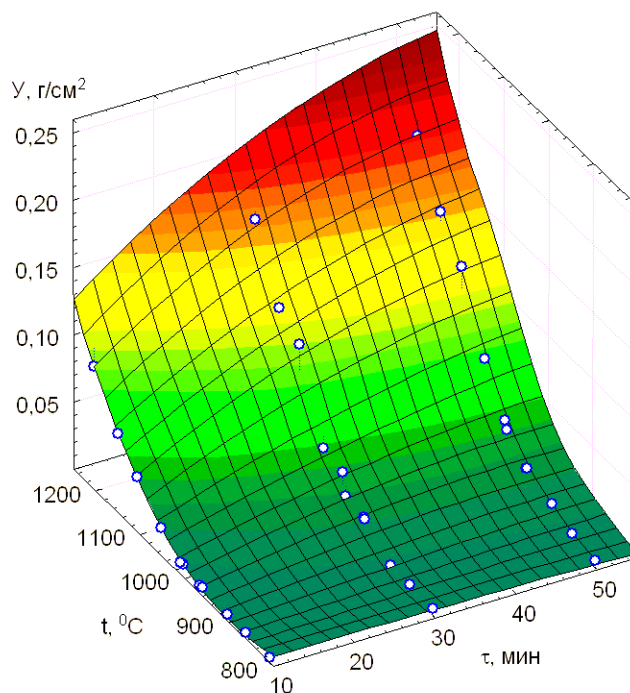
Угар стали определяли с помощью гравиметрического метода (по потере массы образцов) [9]. При проведении лабораторных экспериментов использовали образцы размером 10 × 10 × (23 ÷ 26) мм. Нагрев образцов проводили в электрической печи сопротивления СУОЛ-0,25.1/12,5-И1 с нагревателями из карбида кремния в атмосфере воздуха. Нагрев проводили до температур 800, 850, 900, 950, 1000, 1050, 1100, 1150 и 1200 °С и выдерживали при постоянной температуре в течение 10, 30 и 50 мин. Время разогрева образцов от 20 °С до температуры выдержки составляло 2 – 4 мин. При выдержке температура образцов менялась в пределах ±5 – 10 °С.

Геометрические размеры образцов до и после опытов измеряли штангенциркулем с точностью до 0,1 мм, массу определяли на весах ВЛР-200 с точностью до 0,5 мг. Для удаления окалины с поверхности образцы подвергали травлению в подогретом до 40 – 60 °С 10 %-ным раствором серной кислоты с добавлением 0,1 г/л тиомочевин.

Для прогнозных расчетов угара U , г/см², получена зависимость, позволяющая определить потери массы стали в зависимости от температуры и времени нагрева:

$$U = 765,5 \exp(-14955,5/T) \sqrt{\tau}.$$

где T – температура, К; τ – время, мин.



Зависимость угара стали марки Э90ХАФ от температуры и времени выдержки
Dependence of the carbon monoxide of E90AF steel on temperature and exposure time

На рисунке представлена зависимость угара U стали марки Э90ХАФ от температуры t °С и времени τ выдержки при постоянной температуре, построенная по результатам экспериментальных данных.

Анализ данных показывает, что увеличение температуры от 800 до 1200 °С и времени выдержки от 10 до 50 мин. приводит к росту угара с 0,004 до 0,199 г/см², то есть фактически в 50 раз. Наибольший эффект оказывает рост температуры. Интенсификация угара наблюдается после достижения сталью температур порядка 950 °С. В частности, для времени выдержки 50 мин. Увеличение температуры нагрева от 800 до 950 °С приводит к росту угара с 0,005 до 0,024 г/см² (в 5 раз), а с 950 до 1200 °С – с 0,024 до 0,199 г/см² (в 8 раз). Подобная закономерность согласуется с теорией высокотемпературного окисления стали [9] и связана с образованием в структуре окалины вюстита FeO, интенсифицирующего процессы окисления. Временной фактор оказывает меньшее влияние. Для температур нагрева 1200 °С увеличение времени выдержки с 10 до 50 мин. (в 5 раз) приводит к росту угара с 0,094 до 0,199 г/см² (в 2 раза). Подобное влияние временного фактора связано с замедлением интенсивности окислительных процессов в связи с увеличением толщины слоя окалины на поверхности металла.

Выводы

Проведено исследование кинетики высокотемпературного окисления рельсовой стали

марки Э90ХАФ. Для осуществления прогнозных расчетов получена эмпирическая зависимость угара от температурно-временного фактора. Закономерности влияния температурно-временного фактора на угар рельсовой стали хорошо согласуются с теоретическими представлениями о высокотемпературном окислении железоуглеродистых сплавов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Karl-Otto Edel, Grigori Budnitzki, Thomas Schnitzer. Schienenfehler 1. *Beanspruchung und Schädigung von Eisenbahnschienen*. Wiesbaden: Springer Vieweg. 2021:606. <http://doi.org/10.1007/978-3-662-58660-0>
2. Шур Е.А. *Повреждения рельсов*. Москва: Интекст. 2012:192.
3. Воробьева Е.Е., Ходырев Ю.А. Анализ выхода острodefектных рельсов на Восточно-Сибирской железной дороге. *Транспортная инфраструктура Сибирского региона*. 2019;1:424–429.
4. Yuriev A.A., Gromov V.E., Ivanov Yu.F., Rubannikova Yu.A., Starostenkov M.D., Tabakov P.Y. Structure and Properties of Lengthy Rails after Extremely Long-Term Operation. *Materials Research Forum LLC*. 2021:187. <https://doi.org/10.21741/9781644901472>; EDN:RDMSOE.
5. Konieczny J., Labisz K. Structure and properties of the S49 rail after a long term outdoor

- exposure. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2022;16(2):280–290. <http://doi.org/10.12913/22998624/147275>; EDN: H SXFSS.
6. Panab R., Chen Y., Lan H., Shiju E.; Ren R. Investigation into the microstructure evolution and damage on rail at curved tracks. *Wear*. 2022;504–505:204420. <http://doi.org/10.1016/j.wear.2022.204420>; EDN: OVAQDV.
 7. Полевой Е.В., Юнин Г.Н., Головатенко А.В., Темлянцев М.В. Новейшие разработки рельсовой продукции в АО «ЕВРАЗ ЗСМК». *Сталь*. 2019;7:55–58.
 8. Полевой Е.В., Молоканов Р.Н., Борисов А.С., Юнусов А.М., Бессонова О.В. Опыт ЕВРАЗ ЗСМК по производству рельсов для тяжеловесного движения на экспорт. *Путь и путевое хозяйство*. 2024;6:18–20.
 9. Павлов В.В., Темлянцев М.В., Корнева Л.В., Сюсюкин А.Ю. Перспективные технологии тепловой и термической обработки в производстве рельсов. Москва: Теплотехник. 2007:279. EDN: QMZWVN.
 10. Kanematsu Y., Uehigashi N., Matsui M., Noguchi S. Influence of a decarburised layer on the formation of microcracks in railway rails: on-site investigation and twin-disc study. *Wear*. 2022;504–505:204427. <http://doi.org/10.1016/j.wear.2022.204427>; EDN: WPLUPV.
 11. Кузнецова О.В., Темлянцев М.В., Темлянцева Е.Н., Запольская Е.М. Исследование влияния темпа выдачи слэбов и заготовок на неравномерность теплового состояния и угар металла при нагреве в методических печах. *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2024;1(47):81–85. [http://doi.org/10.57070/2304-4497-2023-1\(47\)-81-85](http://doi.org/10.57070/2304-4497-2023-1(47)-81-85)
- EFERENCES**
1. Karl-Otto Edel, Grigori Budnitzki, Thomas Schnitzer. *Schienenfehler 1. Beanspruchung und Schädigung von Eisenbahnschienen*. Wiesbaden: Springer Vieweg. 2021:606. <http://doi.org/10.1007/978-3-662-58660-0>
 2. Shur E.A. *Повреждения рельсов*. Москва: Интекст. 2012:192. (In Russ.).
 3. Vorob'eva E.E., Khodyrev Yu.A. Analysis of the output of severely defective rails on the East Siberian Railway. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona*. 2019;1:424–429. (In Russ.).
 4. Yuriev A.A., Gromov V.E., Ivanov Yu.F., Rubannikova Yu.A., Starostenkov M.D., Tabakov P.Y. Structure and Properties of Lengthy Rails after Extremely Long-Term Operation. *Materials Research Forum LLC*. 2021:187. <https://doi.org/10.21741/9781644901472>; EDN:RDMSOE.
 5. Konieczny J., Labisz K. Structure and properties of the S49 rail after a long term outdoor exposure. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2022;16(2):280–290. <http://doi.org/10.12913/22998624/147275>; EDN: H SXFSS.
 6. Panab R., Chen Y., Lan H., Shiju E.; Ren R. Investigation into the microstructure evolution and damage on rail at curved tracks. *Wear*. 2022;504–505:204420. <http://doi.org/10.1016/j.wear.2022.204420>; EDN: OVAQDV.
 7. Polevoi E.V., Yunin G.N., Golovatenko A.V., Temlyantsev M.V. The latest developments in rail products at EVRAZ ZSMK JSC. *Stal'*. 2019;7:55–58. (In Russ.).
 8. Polevoi E.V., Molokanov R.N., Borisov A.S., Yunusov A.M., Bessonova O.V. The experience of EVRAZ ZSMK in the production of rails for heavy traffic for export. *Put' i putevoe khozyaistvo*. 2024;6:18–20. (In Russ.).
 9. Pavlov V.V., Temlyantsev M.V., Korneva L.V., Syusyukin A.Yu. Promising technologies of thermal and heat treatment in the production of rails. Moscow: Teplotekhnik. 2007:279. EDN: QMZWVN. (In Russ.).
 10. Kanematsu Y., Uehigashi N., Matsui M., Noguchi S. Influence of a decarburised layer on the formation of microcracks in railway rails: on-site investigation and twin-disc study. *Wear*. 2022;504–505:204427. <http://doi.org/10.1016/j.wear.2022.204427>; EDN: WPLUPV.
 11. Kuznetsova O.V., Temlyantsev M.V., Temlyantseva E.N., Zapol'skaya E.M. Investigation of the effect of the rate of issuance of slabs and blanks on the unevenness of the thermal state and metal carbon monoxide during heating in methodical furnaces. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*. 2024;1(47):81–85. (In Russ.). [http://doi.org/10.57070/2304-4497-2023-1\(47\)-81-85](http://doi.org/10.57070/2304-4497-2023-1(47)-81-85)

Сведения об авторах

Александр Васильевич Пимахин, ведущий специалист по дополнительному профессиональному образованию Центра дополнительного профессионального образования, Сибирский государственный индустриальный университет

Татьяна Николаевна Осколкова, д.т.н., профессор кафедры металлургии черных металлов и химической технологии, Сибирский государственный индустриальный университет

E-mail: oskolkovatatiana@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-1310-1284

SPIN-код: 9969-4805

Ольга Владимировна Кузнецова, магистрант, Сибирский государственный индустриальный университет

Михаил Викторович Темлянецв, д.т.н., профессор кафедры теплоэнергетики и экологии, Сибирский государственный индустриальный университет

E-mail: uchebn_otdel@sibsiu.ru

ORCID: 0000-0001-7985-5666

SPIN-код: 6169-5458

Елена Николаевна Темлянцева, к.т.н., доцент, заведующая кафедрой теплоэнергетики и экологии, Сибирский государственный индустриальный университет

E-mail: elena.temlyantseva@yandex.ru

SPIN-код: 9096-4256

Екатерина Михайловна Запольская, преподаватель кафедры теплоэнергетики и экологии, Сибирский государственный индустриальный университет

E-mail: beloglazova-ekat@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8098-5895

SPIN-код: 7302-2751

Information about the authors:

Aleksandr V. Pimakhin, a leading specialist in additional professional education at the Center for Additional Professional Education, Siberian State Industrial University

Tat'yana N. Oskolkova, Dr. Sci. (Eng.), Prof. of the Departments of Ferrous Metallurgy and Chemical Technology, Siberian State Industrial University

E-mail: oskolkovatatiana@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-1310-1284

SPIN-код: 9969-4805

Olga V. Kuznetsova, undergraduate student, Siberian State Industrial University

Mikhail V. Temlyantsev, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Thermal Power Engineering and Ecology, Siberian State Industrial University

E-mail: uchebn_otdel@sibsiu.ru

ORCID: 0000-0001-7985-5666

SPIN-код: 6169-5458

Elena N. Temlyantseva, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof., Acting Head of the Chair "Thermal Power and Ecology", Siberian State Industrial University

E-mail: elena.temlyantseva@yandex.ru

SPIN-код: 9096-4256

Ekaterina M. Zapol'skaya, Lecturer of the Department of Thermal Power Engineering and Ecology, Siberian State Industrial University

E-mail: beloglazova-ekat@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8098-5895

SPIN-код: 7302-2751

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Поступила в редакцию 28.05.2024

После доработки 04.06.2024

Принята к публикации 06.06.2024

Received 28.05.2024

Revised 04.06.2024

Accepted 06.06.2024