Краткое сообщение

УДК 621:538.911:538.951

DOI: 10.57070/2304-4497-2024-3(49)-47-52

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ Э90ХАФ ПРИ НАГРЕВЕ ПОД ПРОКАТКУ

© 2024 г. А. В. Пимахин, Т. Н. Осколкова, А. С. Симачев, 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 процессов обезуглероживания рельсовой стали марки Э90ХАФ при нагреве до температур 800 – 1250 °С. Глубину видимого обезуглероженного слоя стали определяли металлографическим методом. 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, 1200 и 1250 °С и выдерживали при постоянной температуре в течение 10, 30 и 50 мин. Установлены и научно обоснованы температурные интервалы, для которых характерна различная динамика формирования обезуглероженного слоя. В температурном интервале 800 – (1000 ÷ 1050) °С наблюдается увеличение глубины видимого обезуглероженного слоя от 0 до 0,15 ÷ 0,24 мм. При температурах (1000 ÷ 1050) – 1200 °С и времени выдержки 30 и 50 мин происходит формирование обезуглероженного слоя глубиной до 0,57 и 0,72 мм, увеличение температур более 1200 – 1250 °С сопровождается его снижением до 0,40 и 0,52 мм. Для времени выдержки 10 мин при температурах 1200 – 1250 °С глубина обезуглероженного слоя стабилизируется на уровне 0,27 мм. Полученные данные рекомендуются для разработки металлосберегающих температурных режимов нагрева непрерывнолитых заготовок в методических печах при производстве рельсовой продукции с регламентированной глубиной видимого обезуглероженного слоя.

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

Для цитирования: Пимахин А.В., Осколкова Т.Н., Симачев А.С., Темлянцев М.В., Темлянцева Е.Н., Запольская Е.М. Исследование процессов обезуглероживания рельсовой стали Э90ХАФ при нагреве под прокатку. *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2024;3(49):47–52. *http://doi.org/10.57070/2304-4497-2024-3(49)-47-52*

Short report

INVESTIGATION OF DECARBURIZATION PROCESSES E90HAF RAIL STEEL WHEN HEATED FOR ROLLING

© 2024 A. V. Pimakhin A.V., T. N. Oskolkova, A. S. Simachev, 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 results of laboratory studies of decarburization processes of E90HAF grade rail steel when heated to temperatures of 800 – 1250 °C. are presented. The depth of the visible decarbonized steel layer was determined by metallographic method. During laboratory experiments, samples with a size of 10-10 (2 ÷ 26) mm were used. The samples were heated in an electric furnace of resistance SUOL-0.25.1/12.5-I1 with silicon carbide heaters in an air atmosphere. Heating was carried out to temperatures of 800, 850, 900, 950, 1000, 1050, 1100, 1150, 1200

and 1250 °C and kept at a constant temperature for 10, 30 and 50 minutes. Temperature ranges have been established and scientifically substantiated, for which different dynamics of the formation of a decarbonized layer are characteristic. In the temperature range of 800 – (1000 ÷ 1050) °C, an increase in the depth of the visible carbonized layer is observed from 0 to 0.15 – 0.24 mm. At temperatures (1000 ÷ 1050) – 1200 ° C and a holding time of 30 and 50 minutes. A decarbonized layer is formed with a depth of up to 0.57 and 0.72 mm, an increase in temperatures of more than 1200 – 1250 °C is accompanied by its decrease to 0.4 and 0.52 mm. For a holding time of 10 minutes at temperatures of 1200 – 1250 °C, the depth of the decarbonized layer is stabilized at 0.27 mm. The obtained data are recommended for the development of metal-saving temperature regimes for heating continuously cast blanks in methodical furnaces in the production of rail products with a regulated depth of the visible decarbonized layer.

Keywords: rail steel, heating for rolling, decarburization of steel

For citation: Pimakhin A.V., Oskolkova T.N., Simachev A.S., Temlyantsev M.V.,Temlyantseva E.N., Zapol'skaya E.M. Investigation of decarburization processes of E90AF rail steel during heating for rolling. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*. 2024;3(49):47–52. *http://doi.org/10.57070/2304-4497-2024-3(49)-47-52*

Железнодорожные рельсы для стран с развитой сетью железных дорог являются металлопродукцией, имеющей стратегическое значение [1]. Их качество предопределяет безопасность железнодорожных перевозок, пропускную и провозную способность линий, расходы на содержание пути [2; 3]. Тенденции повышения нагрузок на ось и грузонапряженности в грузовом железнодорожном движении, увеличения скоростей пассажирских поездов приводят к расширению сортамента рельсовой продукций, повышению требований к качеству, комплексу эксплуатационных свойств рельсов и совершенствованию технологий их производства [4 – 8].

Одним из дискуссионных вопросов является влияние обезуглероженного слоя на эксплуатационные свойства рельсов. Формирование обезуглероженного слоя в основном происходит при нагреве непрерывнолитых заготовок в методических печах [9]. Это связано с взаимодействием углерода, содержащимся в стали, с окислительной атмосферой печи. При прокатке происходит трансформация обезуглероженного слоя в результате пластической деформации металла и взаимодействия с воздушной атмосферой. Глубина видимого обезуглероженного слоя в конечной металлопродукции предопределяется интенсивностью процессов окисления (угара) стали. Практический интерес представляют металлосберегающие режимы нагрева, обеспечивающие минимизацию глубины обезуглероженного слоя в рельсовой металлопродукции [10; 11]. Для разработки таких режимов необходима информация о кинетике процессов окисления и обезуглероживания для сталей соответствующих марок, а также о температурно-временных условиях нагрева. В развитие работ [12, 13] проведено исследование процессов обезуглероживания рельсовой стали марки Э90ХАФ (содержание элементов, % (по массе): 0,83 – 0,95 C; 0,75 – 1,25 Mn; 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), применяемой для производства дифференцированно термоупрочненных рельсов повышенной износостойкости и контактной выносливости категории ДТ370ИК [7; 12].

Для определения глубины видимого обезуглероженного слоя применяли металлографический метод. При проведении лабораторных экспериментов использовали образцы размером 10 × 10 × (23 ÷ 26) мм. Образцы нагревали до температур 800 – 1250 °C (интервал 50 °C) в электропечи сопротивления. После нагрева проводили выдержку продолжительностью 10, 30 и 50 мин [12].

Зависимость глубины δ видимого обезуглероженного слоя исследуемой марки стали от температуры *t* и времени τ выдержки (при постоянной температуре) построена по результатам экспериментальных данных (рис. 1). Представлена микроструктура (рис. 2) обезуглероженных слоев в образцах при времени выдержки 50 мин и различных температурах нагрева.

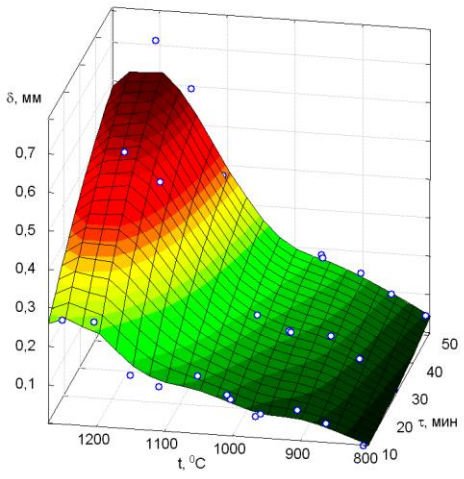

Рис. 1. Зависимость глубины δ видимого обезуглероженного слоя исследуемой марки стали от температуры *t* и времени *τ* выдержки

Fig. 1. The dependence of the depth δ of the visible decarbonized layer of the studied steel grade on the temperature *t* and the holding time τ

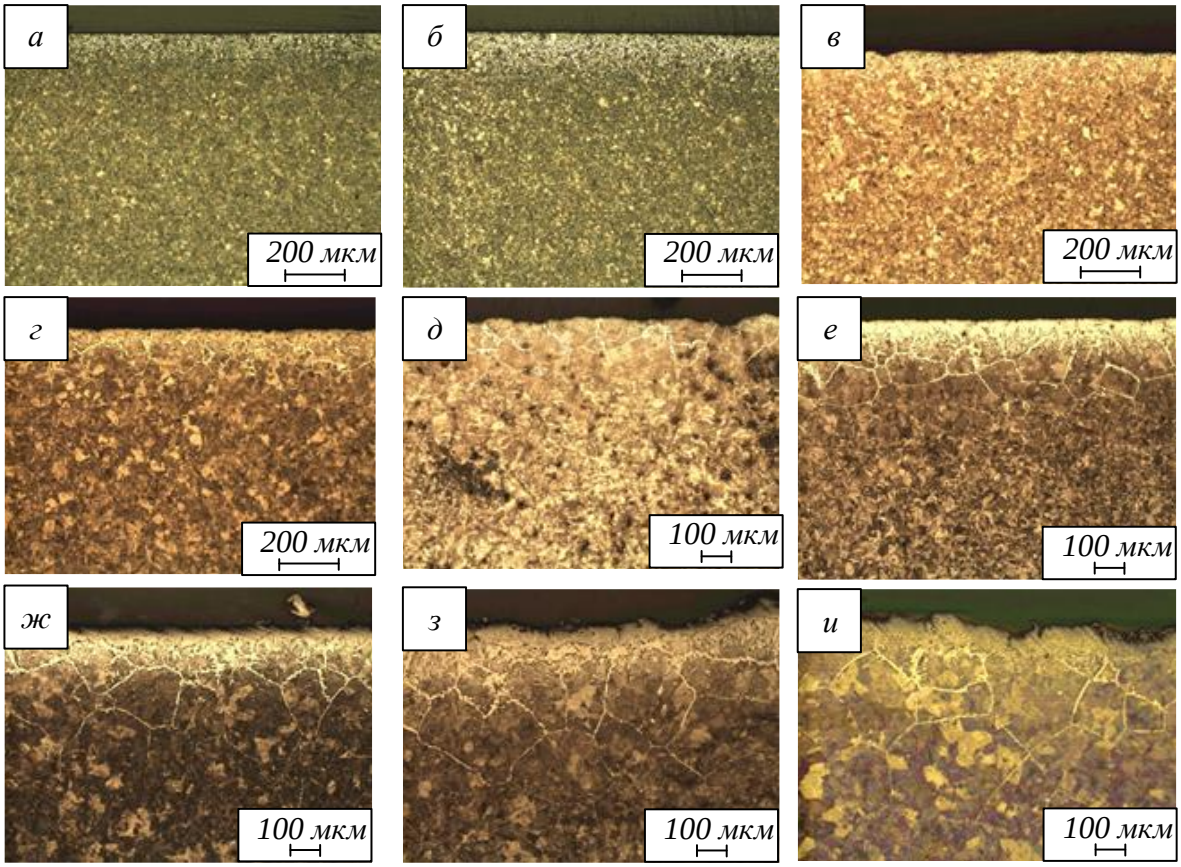

Рис. 2. Микроструктура обезуглероженных слоев в образцах при времени выдержки 50 мин. и температурах нагрева 855 (*а*), 900 (*б*), 959 (*в*), 1001 (*г*), 1051 (*д*), 1104 (*е*), 1151 (*ж*), 1204 (*з*) и 1250 °С (*и*)
Fig. 2. Microstructure of decarbonized layers in samples at a holding time of 50 min. and heating temperatures of 855 (*а*), 900 (*б*), 959 (*в*), 1001 (*г*), 1051 (*д*), 1104 (*е*), 1151 (*ж*), 1204 (*з*) and 1250 °С (*и*)

Анализ данных показывает, что на графике зависимости глубины обезуглероженного слоя от температурно-временного фактора можно выделить три характерные области (медленный и интенсивный рост, снижение глубины). В температурном интервале 800 – (1000 ÷ 1050) °С наблюдается увеличение параметра δ от 0 до 0,15 – 0,24 мм. При температурах (1000 ÷ 1050) – 1200 °С и времени выдержки 30 и 50 мин происходит формирование обезуглероженного слоя глубиной до 0,57 и 0,72 мм. Увеличение температур более 1200 – 1250 °С сопровождается снижением величины δ до 0,40 и 0,52 мм. Для времени выдержки 10 мин при температурах 1200 – 1250 °С глубина обезуглероженного слоя стабилизируется на уровне 0,27 мм.

Для всех исследованных температурных интервалов увеличение времени выдержки приводит к росту величины δ. Наиболее сильно этот эффект проявляется при температуре 1150 °С: при времени выдержки 10 мин, величина δ составляет 0,14 мм, а при 50 мин – 0,6 мм (то есть в 4,3 раза больше).

Наличие характерных интервалов связано с особенностями химического состава рельсовой стали марки Э90ХАФ, микролегированной ванадием и азотом, а также с кинетикой протекания процессов окисления и обезуглероживания. В области температур 800 – (1000 ÷ 1050) °С присутствие карбонитридов ванадия V(C, N) до их растворения способствует замедлению процессов обезуглероживания [14 – 16]. Однако, в этом температурном интервале скорость протекания процессов обезуглероживания несколько превышает скорость процессов окисления, в связи с этим глубина обезуглероженного слоя непрерывно увеличивается.

Далее с ростом температуры происходит растворение карбонитридов ванадия [17] и интенсификация процессов обезуглероживания. При температурах (1000 ÷ 1050) – 1200 °С скорость процессов обезуглероживания значительно выше, чем окисления. В связи с этим глубина обезуглероженного слоя увеличивается достаточно интенсивно, а рост продолжительности выдержки способствует этому явлению.

В третьем интервале при температурах 1200 – 1250 °С разность скоростей процессов окисления и обезуглероживания становится меньше, это приводит к снижению глубины видимого обезуглероженного слоя, так как он, окисляясь, переходит в окалину.

Выводы

Исследована кинетика высокотемпературного обезуглероживания рельсовой стали марки Э90ХАФ. Установлены и научно обоснованы температурные интервалы, для которых характерна различная динамика формирования обезуглероженного слоя. Полученные данные рекомендуются для разработки металлосберегающих температурных режимов нагрева непрерывнолитых заготовок в методических печах при производстве рельсовой продукции с регламентированной глубиной видимого обезуглероженного слоя.

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 остродефектных 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: HSXFSS.
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. Polevoi E.V., Yunin G.N., Temlyantsev M.V. differential heat treatment of rails by means of rolling heat. *Steel in Translation*. 2016;46(10):692–700.
9. Темлянцев М.В., Гаврилов В.В., Корнева Л.В., Сюсюкин А.Ю., Темлянцев Н.В. Нагрев под прокатку непрерывно литых заготовок рельсовой электростали. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2005;6:51–53.
10. Темлянцев М.В., Колотов Е.А., Сюсюкин А.Ю., Гаврилов В.В. Разработка технологии нагрева рельсовых заготовок в методической печи с шагающими балками. *Сталь*. 2006;12:33–35.
11. 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.
12. 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.
13. Темлянцев М.В., Стариков В.С., Темлянцев Н.В., Сюсюкин А.Ю. Исследование окисления и обезуглероживания сталей для рельсов и рельсовых накладок при нагреве под прокатку. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2004;8:36–38.
14. Langneborg R., Hutchinson B., Siweski T., Zajac S. *The role of vanadium in microalloyed steels*. Sweden, Swerea KIMAB. 2014:95.
15. Lagneborg R., Siwecki T., Zajac S., Hutchinson B. The Role of Vanadium in Microalloyed Steels. *Scand. J. of Metallurgy*. 1999;28 (5):186–241
16. Smirnov L.A., Dobuzhskaya A.B., Kushnarev A.V., Kirichkov A.A., Belokurova E.V. Transport steels microalloyed with vanadium and nitrogen. *Steel in Translation*. 2020;50 (6):407–414.
17. Odesskii P.D., Smirnov L.A., Parshin V.A., Kirichkov A.A. Nitrogen as a microalloying element in steel for metallic structures. *Steel in Translation*. 2015;45:5:378–389.

REFERENCES

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. *Damage to the rails*. Moscow: Intext. 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: HSXFSS.

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. Temlyantsev M.V., Gavrilov V.V., Korneva L.V., Syusyukin A.Yu., Temlyantsev N.V. Heating for rolling continuously cast billets of electric rail steel. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2005;6:51–53. (In Russ.).

10. Temlyantsev M.V., Kolotov E.A., Syusyukin A.Yu., Gavrilov V.V. Development of technology for heating rail billets in a methodical furnace with walking beams. *Stal'*. 2006;12:33–35. (In Russ.).

11. 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.

12. Pimakhin A.V., Oskolkova T.N., Kuznetsova O.V., Temlyantsev M.V., Temlyantseva E.N., Zapol'skaya E.M. Investigation of carbon monoxide of e90haf rail steel during heating for rolling. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*. 2024;2 (48):136–140. (In Russ.).

13. Temlyantsev M.V., Starikov V.S., Temlyantsev N.V., Syusyukin A.Yu. Investigation of oxidation and decarburization of steels for rails and rail plates during heating under rolling. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2004;8:36–38. (In Russ.).

14. Langneborg R., Hutchinson B., Siweski T., Zajac S. *The role of vanadium in microalloyed steels*. Sweden, Swerea KIMAB. 2014:95.

15. Lagneborg R., Siwecki T., Zajac S., Hutchinson B. The Role of Vanadium in Microalloyed Steels. *Scand. J. of Metallurgy*. 1999;28 (5):186–241

16. Smirnov L.A., Dobuzhskaya A.B., Kushnarev A.V., Kirichkov A.A., Belokurova E.V. Transport steels microalloyed with vanadium and nitrogen. *Steel in Translation*. 2020;50 (6):407–414.

17. Odesskii P.D., Smirnov L.A., Parshin V.A., Kirichkov A.A. Nitrogen as a microalloying element in steel for metallic structures. *Steel in Translation*. 2015;45:5:378–389.

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

Артем Сергеевис Симачев, *к.т.н., доцент кафедры металлургии черных металлов и химической технологии,* Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: simachev_as@mail.ru

Михаил Викторович Темлянцев, *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 Chair of Ferrous Metallurgy and Chemical Technology,* Siberian State Industrial University
E-mail: oskolkovatatiana@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-1310-1284
SPIN-код: 9969-4805

Artem S. Simachev, *Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof., Acting Head of the Chair of Ferrous Metallurgy and Chemical Technology,* Siberian State Industrial University
E-mail: simachev_as@mail.ru

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 21.08.2024
После доработки 29.08.2024
Принята к публикации 01.09.2024

Received 21.08.2024
Revised 29.08.2024
Accepted 01.09.2024