

Научная статья

УДК 669-15

DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.30408>



О.Г. Зотов, Н.А. Голубков,
А.М. Левитский , С.А. Блинов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия

 levitskij_am@spbstu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРУТКОВЫХ КЛЕММ ИЗ СТАЛИ 40С2 МЕТОДОМ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация. Методами физического моделирования на установке Gleeble 3800-GTC была воспроизведена термическая обработка прутковых клемм из стали 40С2. Моделирование проводилось на образцах диаметром 6 мм, что является приемлемым для моделирования термической обработки прутка диаметром 18 мм ввиду высокой прокаливаемости стали 40С2. Показано влияние режимов термической обработки на формирование структуры. Установлено, что наилучшие механические свойства достигаются после предварительно-го нагрева токами высокой частоты (ТВЧ) — $940\pm 10^\circ\text{C}$, закалке — $860\pm 10^\circ\text{C}$ и отпуске — $350\pm 10^\circ\text{C}$. Также показано негативное влияние низкой температурой нагрева ТВЧ в сочетании с низкой температурой закалки.

Ключевые слова: клеммы, термическая обработка, микроструктура, механические свойства.

Для цитирования:

Зотов О.Г., Голубков Н.А., Левитский А.М., Блинов С.А. Исследование влияния режимов термической обработки на структуру и механические свойства прутковых клемм из стали 40С2 методом физического моделирования // Глобальная энергия. 2024. Т. 30, № 4. С. 96–105. DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.30408>

Research article

DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.30408>

*O.G. Zotov, N.A. Golubkov,
A.M. Levitsky , S.A. Blinov*

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russia

 levitskij_am@spbstu.ru

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF HEAT TREATMENT MODES ON THE STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF 40C2 STEEL BAR CLIPS BY PHYSICAL MODELING

Abstract. Using physical modeling methods on a Gleeble 3800-GTC machine, heat treatment of 40C2 steel bar clips was simulated. Modeling was performed on 6 mm diameter samples, which is acceptable for modeling the heat treatment of an 18 mm diameter bar due to the high hardenability of 40C2 steel. The study showed the effect of heat treatment modes on the structure formation. It was found that the best mechanical properties are achieved after preliminary heating with high-frequency currents (HFC) – $940 \pm 10^\circ\text{C}$, quenching – $860 \pm 10^\circ\text{C}$ and tempering – $350 \pm 10^\circ\text{C}$. The negative effect of low heating temperature with HFC in combination with low quenching temperature was also shown.

Keywords: clips, heat treatment, microstructure, mechanical properties.

Citation:

Zotov O.G., Golubkov N.A., Levitsky A.M., Blinov S.A., Investigation of the effect of heat treatment modes on the structure and mechanical properties of 40C2 steel bar clips by physical modeling, *Global Energy*, 30 (04) (2024) 96–105, DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.30408>

Введение. Ввиду запроса на интенсификацию железнодорожных перевозок в настоящее время ведется активное строительство высокоскоростных магистралей. Увеличение скорости прохождения состава приводит к увеличению нагрузки на железнодорожные клеммы, что обуславливает повышение требований к их механическим свойствам. Механические свойства полностью определяются структурой, которая формируется в процессах изготовления клемм.

На сегодняшний день хорошо развито представление о формировании структуры пружинных сталей, к которым относится 40C2. Подробная характеристика данного класса материалов дана в работе [1]. Вопросы, связанные с формированием структуры данного класса материалов в процессах термической обработки, рассмотрены в работах [2–14]. Зачастую для корректировки процессов термической обработки пользуются термокинетическими диаграммами распада аустенита. В работах [15, 16] представлены термокинетические диаграммы распада аустенита для многих материалов, в том числе и для стали 40C2.

Формирование структуры очень чувствительно к технологическим параметрам процесса термической обработки клемм. В связи с этим вопросы оптимизации современных технологических процессов актуальны для производителей клемм. Например, в работе [17], выполненной с участием производителя железнодорожных клемм, рассмотрены вопросы оптимизации технологии термической обработки стали 38Si7.

Настоящее исследование выполнено при сотрудничестве с ПАО «Северсталь-метиз». В рамках существующей на данном предприятии технологии клеммы из стали 40C2 подвергаются термической обработке, заключающейся в нагреве токами высокой частоты (ТВЧ) до температур

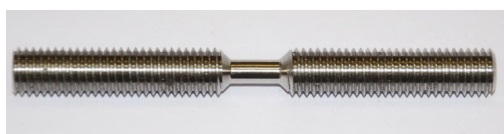


Рис. 1. Образцы для термической обработки на установке Gleeble 3800

Fig. 1. Samples for heat treatment on the Gleeble 3800-GTC machine

940–1020°C перед гибкой для придания формы, подстуживание до 750°C, нагреве под закалку до 840–860°C с последующим охлаждением в воде и отпуске при 430°C. В связи с этим физическое моделирование термической обработки с целью оптимизации режимов, обеспечивающих более высокие механические свойства, является актуальной задачей для исследований. В настоящее время данные о подобных исследованиях отсутствуют.

Цель работы – проведение физического моделирования процесса термической обработки железнодорожной клеммы для оптимизации механических свойств.

Материалы и методы

Исследования проводились на заготовках проката диаметром 18 мм, изготовленных на ПАО «Северсталь» и соответствующих требованиям ТУ 1150-168-01124323-2003. Химический состав исследуемого материала приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав исследуемого материала

Table 1

Chemical composition of the material under study

Содержание элементов, масс. %								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al
0,40–0,41	1,57–1,60	0,66–0,70	0,008–0,012	0,004–0,008	0,08–0,09	0,06–0,08	0,12–0,16	0,005–0,009

Моделирование процессов термической обработки проводилось на модуле Pocket-Jaw комплекса Gleeble 3800 на специальных образцах, вид которых показан на рис. 1. Данный модуль позволяет моделировать множество термических обработок, поскольку способен варьировать в широких пределах такие параметры, как скорость и температура нагрева, а также скорость охлаждения.

После моделирования процесса производства клемм одна часть образцов использовалась для проведения механических испытаний на испытательной машине ZwickRoell Z100, а из другой части изготавливались микрошлифы для проведения металлографического анализа на оптическом микроскопе плоского поля Leica DMI 5000.

Результаты и обсуждение

В рамках данного исследования были проведены три серии экспериментов. Первая – влияние температуры предварительного нагрева ТВЧ на структуру металла. Вторая – влияние температуры предварительного нагрева ТВЧ и закалки на структуру металла. Третья – влияние температуры предварительного нагрева ТВЧ, закалки и отпуска на структуру металла.

Первая серия экспериментов

Первый режим термической обработки заключался в нагреве до 1020°C со скоростью 50 °C/с, выдержке в течение 3 мин. и охлаждении со скоростью 50 °C/с. Второй режим термической

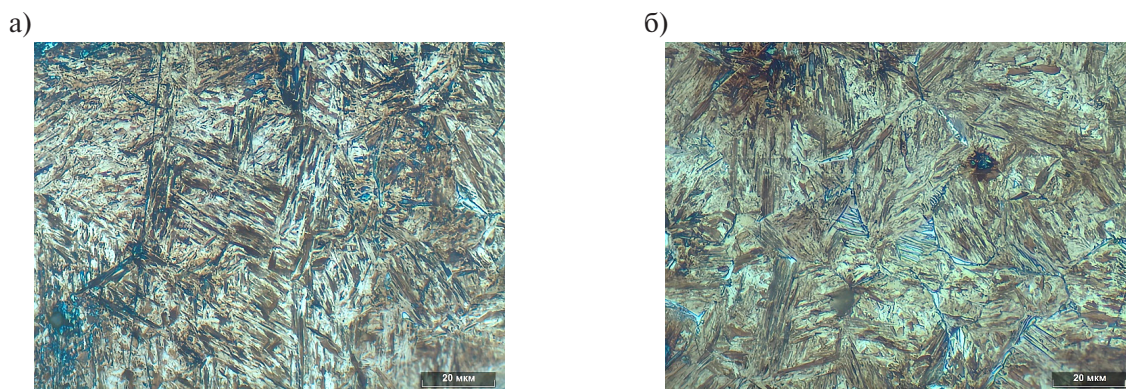


Рис. 2. Микроструктура образцов при увеличении $\times 1000$:
а) температура нагрева ТВЧ 1020°C; б) температура нагрева ТВЧ 940°C

Fig. 2. Microstructure of samples at 1000-fold magnification:
a) high-frequency current heating temperature 1020°C; b) high-frequency current heating temperature 940°C

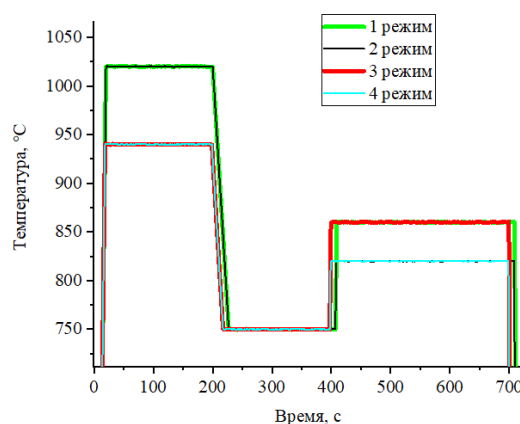


Рис. 3. Режимы термической обработки

Fig. 3. Heat treatment modes

обработки заключался в нагреве до 940°C со скоростью 50 °C/с, выдержке в течение 3 мин. и охлаждении со скоростью 50 °C/с. На рис. 2 показана микроструктура термообработанных образцов.

Видно, что в структуре образцов, нагретых до 1020°C, наблюдается небольшое количество феррита, выделившегося по границам зерен (около 1%), и игольчатого мартенсита. Размер бывшего аустенитного зерна составляет 80–100 мкм. Твердость – HV₁₀/HRC 590/55. Снижение температуры нагрева до 940°C привело к увеличению количества ферритной фазы до 3%. Размер бывшего аустенитного зерна находится в пределах 40 мкм, поскольку более низкая температура снижает интенсивность роста зерна в процессе нагрева. Значение твердости при этом практически не изменилось и составило HV₁₀/HRC 580/54.

Вторая серия экспериментов

При моделировании термической обработки учитывалось, что в реальных условиях заготовки подстуживаются при температуре 750°C. Термическую обработку образцов проводили по четырем режимам нагрева. Режимы термообработки представлены на рис. 3. На рис. 4 показана

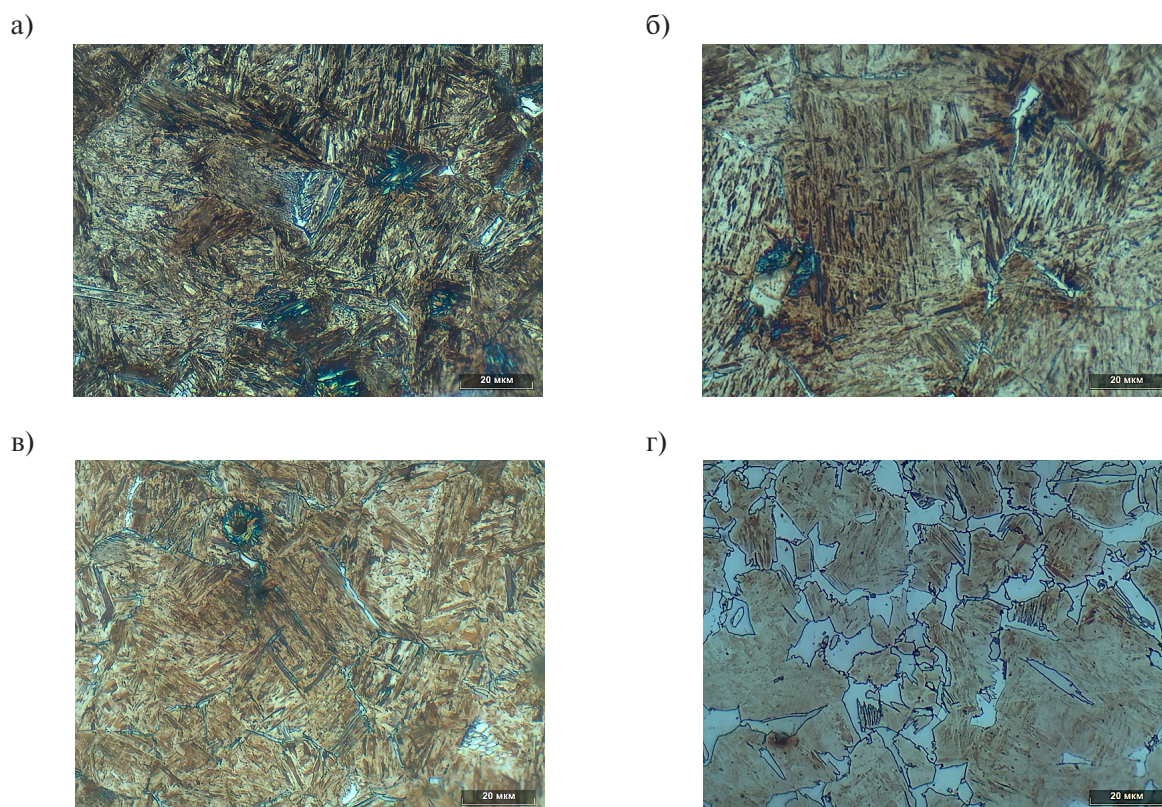


Рис. 4. Микроструктура образцов после закалки при увеличении $\times 1000$:
а) 1-й режим; б) 2-й режим; в) 3-й режим; г) 4-й режим

Fig. 4. Microstructure of samples after quenching at 1000-fold magnification:
a) 1st mode; b) 2nd mode; c) 3rd mode; d) 4th mode

микроструктура образцов, сформировавшаяся в результате проведенной обработки. В табл. 2 представлены механические свойства образцов после термообработки.

Таблица 2

Механические свойства и размер зерна аустенита

Table 2

Mechanical properties and austenite grain size

№ режима	σ_b МПа	$\sigma_{0.2}$ МПа	δ_5 %	HV10/HRC	Размер зерна аустенита, мкм
1	1240	834	1,5	575/54	50–80
2	1130	778	1,1	560/51	40
3	1280	846	9,1	570/54	30–40
4	887	616	—	470/43	30–40

Анализ полученных результатов показал, что все исследованные режимы термической обработки обеспечивают получение мартенситной структуры, для которой характерны высокие прочностные свойства и твердость. Однако наряду с мартенситом в структуре образцов присутствует феррит, количество которого определяется температурами нагрева ТВЧ и температурой закалки. Снижение указанных температур приводит к увеличению количества феррита. Особенно это

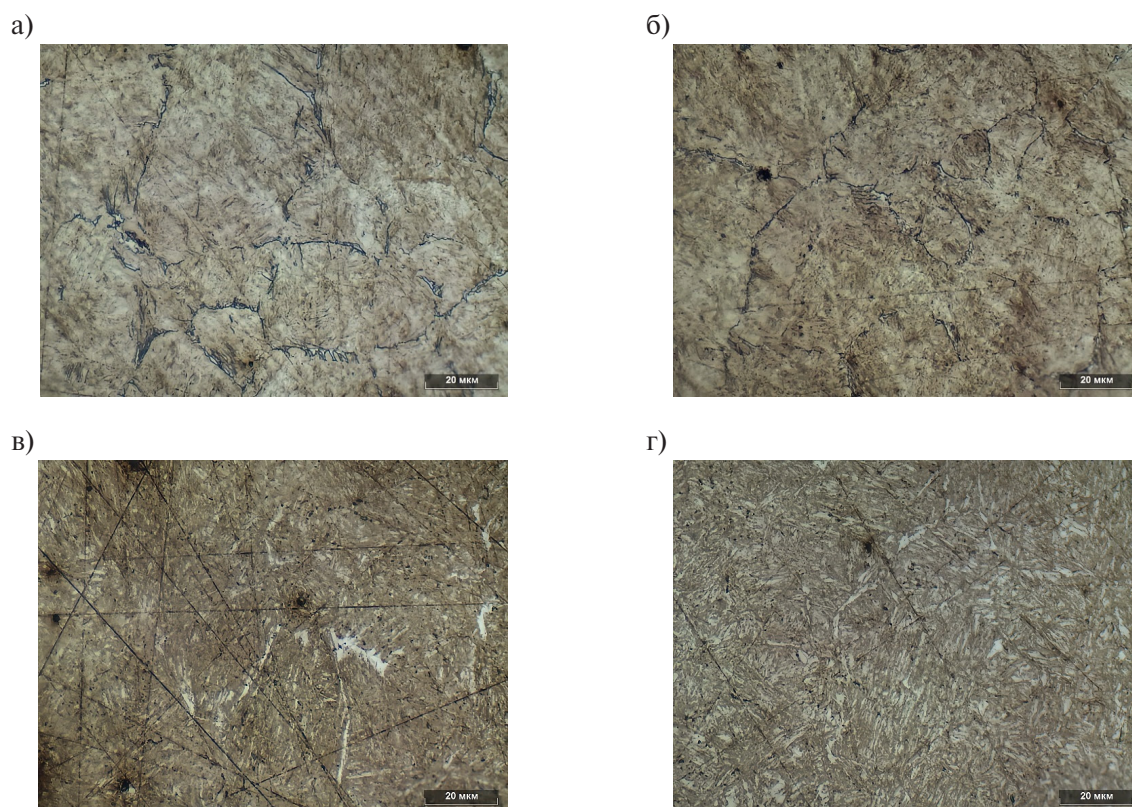


Рис. 5. Микроструктура образцов после закалки и отпуска при увеличении $\times 1000$:

а) температура отпуска 350°C ; б) температура отпуска 400°C ;
в) температура отпуска 450°C ; г) температура отпуска 500°C

Fig. 5. Microstructure of samples after quenching and tempering at 1000-fold magnification:

a) tempering temperature 350°C ; б) tempering temperature 400°C ;
c) tempering temperature 450°C ; d) tempering temperature 500°C

четко проявляется при минимальных температурах нагрева ТВЧ и закалки. В этом случае количество феррита достигает 20%, а твердость и прочность резко снижаются. Более того, во многих работах, например в [18], показано негативное влияние феррита на длительную прочность. Из этого следует, что количество его должно быть минимальным.

Стоит отметить, что температура нагрева ТВЧ также оказывает влияние на размер зерна аустенита. Из табл. 2 видно, что режимы с температурой нагрева ТВЧ до 940°C позволяют избежать сильного роста зерна. Следует также отметить, что наилучшее сочетание прочностных и пластических свойств наблюдается в образцах, обработанных по третьему режиму.

Таким образом, на основании полученных экспериментальных данных был выбран третий режим обработки, обеспечивающий получение мартенситной структуры, относительно мелкого зерна, высоких прочностных свойств и твердости при сохранении приемлемой пластичности.

Третья серия экспериментов

При исследовании влияния процессов отпуска на структуру и свойства стали 40С2 закалка образцов проводилась по выбранному ранее третьему режиму, а температуру отпуска варьировали от 350 до 500°C . На рис. 5 показана микроструктура образцов, сформировавшаяся в результате проведенной обработки. Механические свойства образцов после закалки и отпуска приведены в табл. 3.

Таблица 3

Механические свойства образцов после закалки и отпуска

Table 3

Mechanical properties of samples after quenching and tempering

№ п/п	Температура отпуска, °С	σ_b МПа	$\sigma_{0.2}$ МПа	δ_5 %	HRC
1	350	1280	878	20,8	46
2	400	1240	810	20,7	41
3	450	1150	788	20,8	37
4	500	1100	804	23,5	33

Полученные данные свидетельствуют, что повышение температуры отпуска приводит к распаду мартенситной структуры, что сопровождается снижением прочностных свойств и твердости. Наиболее высокие значения твердости и прочности были получены при температуре отпуска 350°С.

Выводы

Таким образом, в результате физического моделирования процесса термической обработки железнодорожных клемм из стали 40С2 установлено следующее:

- Следует избегать сочетания низких температур нагрева ТВЧ и закалки, так как это ведет к образованию большого количества ферритной фазы. В то же время высокая температура нагрева ТВЧ способствует интенсификации роста аустенитного зерна. Исходя из этого, следует отдать предпочтение режимам с температурой нагрева ТВЧ $940\pm10^{\circ}\text{C}$ и температурой закалки $860\pm10^{\circ}\text{C}$. Такое сочетание температур позволит получить наилучшее сочетание прочностных и пластических свойств.
- Отпуск стали, формирующий окончательную структуру и свойства, должен проводиться при температурах, не приводящих к полному распаду мартенситной структуры, так как в этом случае получатся низкие прочностные свойства. Поэтому температура отпуска должна находиться в пределах $350\pm10^{\circ}\text{C}$, что обеспечит сохранение высоких прочностных свойств, а также позволит увеличить удлинение с 9,1 до 20,8%. Значения твердости будут находиться в пределах 46 HRC.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

[1] **Рахштадт А.Г.** Пружинные стали и сплавы. Москва: Металлургия. 1982. 400 с.

[2] **Htun M.S., Lwin K.T., Kyaw S.T.** Effect of heat treatment on microstructures and mechanical properties of spring steel // Journal of Metals, Materials and Minerals. 2008. Vol. 18, No. 2. P. 191–197.

[3] **Мезин И.Ю., Гун И.Г., Чукин В.В., Михайловский И.А., Касаткина Е.Г., Лимарев А.С.** Анализ показателей качества стали 40С2А в процессах производства гнутых пружинных изделий // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Metallurgy. 2017. Т. 17, № 2. С. 61–69. DOI: 10.14529/met170208

[4] **Тюленев Д.Г., Шолом В.Ю., Абрамов А.Н., Пузырьков Д.Ф.** Влияние охлаждающих свойств закалочных жидкостей и режимов термообработки на твердость стали 40С2 // Транспортное машиностроение. 2024. Том 25, № 1. С. 4–12. DOI: 10.30987/2782-5957-2024-1-4-12

[5] **Hutchinson B., Hagström J., Karlsson O., Lindell D., Tornberg M., Lindberg F., Thuvander M.** Microstructures and hardness of as-quenched martensites (0.1–0.5%С) // Acta Materialia. 2011. Vol. 59, No. 14. P. 5845–5858. DOI: 10.1016/j.actamat.2011.05.061

- [6] Ostash O.P., Chepil' R.V., Markashova L.I., Hrybovs'ka V.I., Kulyk V.V., Berdnikova O.M. Influence of the modes of heat treatment on the durability of springs made of 65g steel // Materials Science. 2018. Vol. 53, No. 5. P. 684–690. DOI: 10.1007/s11003-018-0124-0
- [7] Wang Y., Sun J., Jiang T., Sun Y., Guo S., Liu Y. A low-alloy high-carbon martensite steel with 2.6 GPa tensile strength and good ductility // Acta Materialia. 2018. Vol. 158. P. 247–256. DOI: 10.1016/j.actamat.2018.07.060
- [8] Xu H.F., Zhao J., Cao W.Q., Shi J., Wang C.Y., Wang C., Li J., Dong H. Heat treatment effects on the microstructure and mechanical properties of a medium manganese steel (0.2C–5Mn) // Materials Science and Engineering: A. 2012. Vol. 532. P. 435–442. DOI: 10.1016/j.msea.2011.11.009
- [9] Krauss G. Martensite in steel: strength and structure // Materials Science and Engineering: A. 1999. Vol. 273–275. P. 40–57. DOI: 10.1016/S0921-5093(99)00288-9
- [10] Reguly A., Strohaecker T.R., Krauss G., Matlock D.K. Quench embrittlement of hardened 5160 steel as a function of austenitizing temperature // Metallurgical and Materials Transactions A. 2004. Vol. 35. P. 153–162. DOI: 10.1007/s11661-004-0118-4
- [11] Kim B., Boucard E., Sourmail T., San Martín D., Gey N., Rivera-Díaz-del-Castillo P.E.J. The influence of silicon in tempered martensite: Understanding the microstructure–properties relationship in 0.5–0.6 wt.% C steels // Acta Materialia. 2014. Vol. 68. P. 169–178. DOI: 10.1016/j.actamat.2014.01.039
- [12] Hao C.-l., Yang C.-y., Liu P., Luan Y.-k., Sang B.-g. Effects of rare earth elements on inclusions, microstructure and impact toughness of spring steel // Journal of Iron and Steel Research International. 2024. Vol. 31, P. 933–944. DOI: 10.1007/s42243-023-01055-8
- [13] Wang F., Ye X., Ren S., Zhang K., Liang X., Liu G. Effect of intercritical annealing time on microstructure evolution and mechanical properties of low carbon medium manganese steel subjected to multi-step heat treatment process // Materials. 2022. Vol. 15, No. 7. Article no. 2425. DOI: 10.3390/ma15072425
- [14] Saed A., Hatra A., Ali S. Using heat treatment in design optimization of high carbon spring steel // International Journal of Engineering Research. 2023. DOI: 10.17577/IJERTV12IS070030
- [15] Попова Л.Е., Попов А.А. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана. Справочник термиста. М.: Металлургия, 1991. 503 с.
- [16] Huang H., Liu J., Wang B. Continuous cooling kinetics modeling for a medium–high carbon spring steel // Journal of Materials Engineering and Performance. 2019. Vol. 28. P. 3129–3135. DOI: 10.1007/s11665-019-04051-w
- [17] Liu J., Jiang B., Zhang C., Li G., Dai Y., Chen L. Evolution during hot rolling and control by thermo-mechanical control process of surface decarburization on 38Si7 spring steel // Journal of Materials Engineering and Performance. 2022. Vol. 31. P. 8677–8686. DOI: 10.1007/s11665-022-06956-5
- [18] Kolbasnikova N.G., Vargasova N.R., Zotova O.G., Luk'yanova A.A., Belozerovb V.L. Reliability of rail rolled by different technologies // Steel in Translation. 2014. Vol. 44, No. 12, P. 931–938. DOI: 10.3103/S0967091214120080

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ЗОТОВ Олег Геннадьевич — доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, канд. техн. наук.
E-mail: zog-58@mail.ru

ГОЛУБКОВ Никита Александрович — ведущий инженер, Санкт-Петербургский политехнический университет, без степени.
E-mail: golubkov-na@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6785-1444>

ЛЕВИТСКИЙ Алексей Максимович — инженер, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, без степени.

E-mail: levitskij_am@spbstu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7900-4007>

БЛИНОВ Святослав Алексеевич — инженер, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, без степени.

E-mail: blinov_sa@spbstu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2017-8249>

REFERENCES

- [1] **A.G. Rakhshadt**, *Pruzhinnye stali i splavy* [Spring steels and alloys]. Moscow: Metallurgiya. 1982. 400 p.
- [2] **M.S. Htun, K.T. Lwin, S.T. Kyaw**, Effect of heat treatment on microstructures and mechanical properties of spring steel, *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 18(2) (2008) 191–197.
- [3] **I.Yu. Mezin, I.G. Gun, V.V. Chukin, I.A. Mikhailovskiy, E.G. Kasatkina, A.S. Limarev**, Analysis of the quality indicators of 40S2A grade steel in the processes of production of bent springs, *Bulletin of the South Ural State University*, 17(2) (2017) 61–69. DOI: 10.14529/met170208
- [4] **D. Tyulenev, V. Sholom, A. Abramov, D. Puzyrkov**, The influence of cooling properties of quenching liquids and heat treatment modes on 40C2 steel hardness, *Transport Engineering*, 1(25) (2024) 4–12. DOI: 10.30987/2782-5957-2024-1-4-12
- [5] **B. Hutchinson, J. Hagström, O. Karlsson, D. Lindell, M. Tornberg, F. Lindberg, M. Thuvander**, Microstructures and hardness of as-quenched martensites (0.1–0.5%C), *Acta Materialia*, 59(14) (2011) 5845–5858. DOI: 10.1016/j.actamat.2011.05.061
- [6] **O.P. Ostash, R.V. Chepil', L.I. Markashova, V.I. Hrybovs'ka, V.V. Kulyk, O.M. Berdnikova**, Influence of the modes of heat treatment on the durability of springs made of 65g steel, *Materials Science*, 53(5) (2018) 684–690. DOI: 10.1007/s11003-018-0124-0
- [7] **Y. Wang, J. Sun, T. Jiang, Y. Sun, S. Guo, Y. Liu**, A low-alloy high-carbon martensite steel with 2.6 GPa tensile strength and good ductility, *Acta Materialia*, 158 (2018) 247–256. DOI: 10.1016/j.actamat.2018.07.060
- [8] **H.F. Xu, J. Zhao, W.Q. Cao, J. Shi, C.Y. Wang, C. Wang, J. Li, H. Dong**, Heat treatment effects on the microstructure and mechanical properties of a medium manganese steel (0.2C–5Mn), *Materials Science and Engineering: A*, 532 (2012) 435–442. DOI: 10.1016/j.msea.2011.11.009
- [9] **G. Krauss**, Martensite in steel: strength and structure, *Materials Science and Engineering: A*, 273–275 (1999) 40–57. DOI: 10.1016/S0921-5093(99)00288-9
- [10] **A. Reguly, T.R. Strohaecker, G. Krauss, D.K. Matlock**, Quench embrittlement of hardened 5160 steel as a function of austenitizing temperature, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 35 (2004) 153–162. DOI: 10.1007/s11661-004-0118-4
- [11] **B. Kim, E. Boucard, T. Sourmail, D. San Martín, N. Gey, P.E.J. Rivera-Díaz-del-Castillo**, The influence of silicon in tempered martensite: Understanding the microstructure–properties relationship in 0.5–0.6 wt.% C steels, *Acta Materialia*, 68 (2014) 169–178. DOI: 10.1016/j.actamat.2014.01.039
- [12] **C.-I. Hao, C.-y. Yang, P. Liu, Y.-k. Luan, B.-g. Sang**, Effects of rare earth elements on inclusions, microstructure and impact toughness of spring steel, *Journal of Iron and Steel Research International*, 31 (2024) 933–944. DOI: 10.1007/s42243-023-01055-8
- [13] **F. Wang, X. Ye, S. Ren, K. Zhang, X. Liang, G. Liu**, Effect of intercritical annealing time on microstructure evolution and mechanical properties of low carbon medium manganese steel subjected to multi-step heat treatment process, *Materials*, 15(7) (2022) 2425. DOI: 10.3390/ma15072425
- [14] **A. Saed, A. Hatra, S. Ali**, Using Heat Treatment in Design Optimization of High Carbon Spring Steel, *Article in International Journal of Engineering Research*, (2023). DOI: 10.17577/IJERTV12IS070030

- [15] **L.E. Popova, A.A. Popov**, Diagrammy prevrashcheniia austenita v staliakh i beta-rastvora v splavakh titana. Spravochnik termista [Transformation diagrams of austenite in steels and beta solution in titanium alloys. Handbook of thermist]. Moscow: Metallurgiya, 1991. 503 p.
- [16] **H. Huang, J. Liu, B. Wang**, Continuous cooling kinetics modeling for a medium–high carbon spring steel, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 28 (2019) 3129–3135. DOI: 10.1007/s11665-019-04051-w
- [17] **J. Liu, B. Jiang, C. Zhang, G. Li, Y. Dai, L. Chen**, Evolution during hot rolling and control by thermo-mechanical control process of surface decarburization on 38Si7 spring steel, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 31 (2022) 8677–8686. DOI: 10.1007/s11665-022-06956-5
- [18] **N.G. Kolbasnikova, N.R. Vargasova, O.G. Zotova, A.A. Luk'yanova, V.L. Belozerovb**, Reliability of rail rolled by different technologies, *Steel in Translation*, 44(12) (2014) 931–938. DOI: 10.3103/S0967091214120080

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Oleg G. ZOTOV – *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*.
E-mail: zog-58@mail.ru

Nikita A. GOLUBKOV – *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*.
E-mail: golubkov-na@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6785-1444>

Alexey M. LEVITSKY – *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*.
E-mail: levitskij_am@spbstu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7900-4007>

Sviatoslav A. BLINOV – *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*.
E-mail: blinov_sa@spbstu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2017-8249>

Поступила: 20.12.2024; Одобрена: 15.01.2025; Принята: 17.01.2025.
Submitted: 20.12.2024; Approved: 15.01.2025; Accepted: 17.01.2025.