

Научная статья

2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)

УДК 621.791:621.771

doi: 10.25712/ASTU.1811-1416.2022.01.015

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМОДИФфуЗИОННОГО БОРОСИЛИЦИРОВАНИЯ
НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛИ 30ХГСА****Сергей Геннадьевич Иванов^{1†}, Алексей Михайлович Гурьев², Михаил Алексеевич Гурьев³,
Иван Владимирович Сентябов⁴, Евгения Владимировна Черных⁵**^{1, 2, 3, 4, 5} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, пр. Ленина, 46, 656038, Барнаул, Россия² Уханьский текстильный университет, ул. ФангЖи, 1, 430073, Ухань, КНР¹ serg225582@mail.ru[†], <https://orcid.org/0000-0002-5965-0249>² gurievam@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7570-8877>³ gurievma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9191-1787>⁴ ru.0908@mail.ru⁵ jane_5@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1128-8471>

Аннотация. В работе представлены исследования микроструктуры и микротвердости боросилицированных диффузионных слоев на стали 30ХГСА. Диффузионные покрытия на цилиндрических образцах из стали 30ХГСА получены одновременным диффузионным насыщением бором, хромом, титаном и кремнием. Металлографический анализ осуществляли при помощи металлографического микроскопа «Carl Zeiss Axio Observer Z1m» и программного комплекса «ThixoMet PRO». Проведенные исследования показали, что в случае введения в насыщающую смесь для борирования карбида кремния SiC в количестве 10 масс. %, на поверхности стали 30ХГСА формируется диффузионный слой, представляющий собой твердый раствор кремния в α -железе, что подтверждается значением микротвердости на уровне 180–186 HV_{0,1}. При закалке диффузионно-упрочненной стали 30ХГСА твердость диффузионных покрытий также возрастает: твердость борированного слоя при закалке возрастает на 25 % по сравнению с незакаленным слоем, тогда как твердость боросилицированного слоя возрастает в 2,7 раза. При этом боросилицированный слой, имея более низкую твердость, в большей степени способен к приработке в условиях трения скольжения и при наличии агрессивных растворов солей, при которых работают опорные подшипники буровых установок.

Ключевые слова: борирование, боросилицирование, химико-термическая обработка, диффузионный слой, упрочнение, сталь, износостойкость, микротвердость.

Благодарности: Исследования выполнены в Центре коллективного пользования АлтГТУ.

Для цитирования: Иванов С.Г., Гурьев А.М., Гурьев М.А., Сентябов И.В., Черных Е.В. Исследование влияния термодиффузионного боросилицирования на структуру и свойства стали 30ХГСА // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2022. Т. 19, № 1. С. 132–139. doi: 10.25712/ASTU.1811-1416.2022.01.015.

Original article

**STUDY OF THE INFLUENCE OF THERMAL DIFFUSION BOROSILICONIZATION
ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF STEEL 30KhGSA****Sergey G. Ivanov^{1†}, Alexey M. Guryev², Mikhail A. Guryev³, Ivan V. Sentyabov⁴,
Evgeniya V. Chernykh⁵**^{1, 2, 3, 4, 5} I.I. Polzunov Altai State Technical University, Lenin Pr., 46, Barnaul, 656038, Russia² Wuhan Textile University, FangZhi Road, 1, Wuhan, 430073, China¹ serg225582@mail.ru[†], <https://orcid.org/0000-0002-5965-0249>² gurievam@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7570-8877>³ gurievma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9191-1787>⁴ ru.0908@mail.ru⁵ jane_5@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1128-8471>

Abstract. The paper presents studies of the microstructure and microhardness of borosiliconized diffusion layers on steel 30KhGSA. Diffusion coatings on cylindrical specimens of 30KhGSA steel were obtained by simultaneous diffusion saturation with boron, chromium, titanium, and silicon. Metallographic analysis was carried out using «Carl Zeiss Axio Observer Z1m» metallographic microscope and the «ThixoMet PRO» software package. The conducted studies have shown that in the case of introducing silicon carbide SiC into the saturating mixture for borating in an amount of 10 wt. %, a diffusion layer is formed on the surface of steel 30KhGSA, which is a solid solution of silicon in α -iron, which is confirmed by the value of microhardness at the level of 180–186 HV_{0.1}. During hardening of diffusion-hardened steel 30KhGSA, the hardness of diffusion coatings also increases: the hardness of the borated layer during hardening increases by 25 % compared to the non-hardened layer, while the hardness of the borosiliconized layer increases by 2.7 times. At the same time, the borosiliconized layer, having a lower hardness, is more capable of running in under conditions of sliding friction and in the presence of aggressive salt solutions, in which the thrust bearings of drilling rigs operate.

Keywords: boriding, borosiliconation, chemical-thermal treatment, diffusion layer, hardening, steel, wear resistance, microhardness.

Acknowledgements: The studies were carried out at the Center for Collective Use of AltSTU.

For citation: Ivanov, S. G., Guryev, A. M., Guryev, M. A., Sentyabov, I. V. & Chernykh, E. V. (2022). Study of the influence of thermal diffusion borosiliconization on the structure and properties of steel 30KhGSA. *Fundamental'nye problemy sovremennogo materialovedeniya (Basic Problems of Material Science (BPMS))*, 1(19), 132–139. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.1811-1416.2022.01.015.

Введение

Известно, что в условиях эксплуатации внешним высокоинтенсивным воздействиям максимально подвергнуты поверхности деталей и инструментов, работоспособность которых определяется физико-химическими и механическими свойствами поверхностных слоев. В связи с этим разработка технологий поверхностного упрочнения, позволяющая существенно повысить эксплуатационные характеристики материалов, оказывается одной из актуальных проблем современного материаловедения.

Широко используемым способом поверхностной обработки для упрочнения сталей и сплавов на основе железа является химико-термическая обработка (ХТО). Методы ХТО, изменяя состояние и структуру рабочей поверхности материала, повышают срок его службы за счет образования более устойчивых при нагреве соединений (карбидов, нитридов, боридов), имеющих также более высокие показатели износо- и коррозионной стойкости [1-6]. Наиболее изученным и перспективным методом ХТО является диффузионное борирование. Благодаря применению диффузионных боридных покрытий, сформированных в процессе ХТО, обеспечивается высокая износостойкость, теплостойкость и коррозионная стойкость стальных изделий [7]. Однако боридным покрытиям свойственна высокая хрупкость, которая ограничивает область их применения.

В настоящее время большое значение придается упрочнению поверхности путем комбинированного насыщения бором совместно с другими элементами [8-11]. Традиционные и

наиболее эффективные процессы термодиффузионного насыщения – силицирование, алитирование, хромирование, боросилицирование, борохромирование, бороалитирование, бороазотирование [6].

Особый научный и производственный интерес представляют исследования процессов комплексного насыщения стали бором совместно с кремнием. Эксперименты показали, что отличающиеся по структуре диффузионные слои с различным соотношением боридных и силицидных фаз в значительной степени влияют на сопротивление хрупкому разрушению поверхностных слоев деталей [12, 13].

Имеются исследования, направленные на изучение одновременного диффузионного насыщения сталей хромом, титаном и бором, что позволяет повысить скорость формирования диффузионного слоя в среднем на 10-15 % по сравнению с двухкомпонентным насыщением бором и хромом [14].

Целью данной работы является исследование микроструктуры и микротвердости боросилицированных диффузионных слоев на стали 30ХГСА.

Методика и материалы

В настоящей работе проведен анализ микроструктуры диффузионных покрытий на среднелегированной высокоуглеродистой конструкционной стали 30ХГСА. Сталь 30ХГСА относится к высококачественным сплавам, применяемым для ответственных конструкций и различных деталей [15]. Нанесение на поверхность изделий для буровой техники (втулки,

опорные подшипники) защитного боридного покрытия, обладающего высокими показателями твердости и износостойкости при адгезионном, абразивном износах, в том числе и в коррозионно-активных средах, позволит значительно повысить ресурс работы бурового оборудования, что крайне актуально в нынешних экономических условиях.

Диффузионные покрытия на цилиндрических образцах из стали 30ХГСА диаметром 25 мм и высотой 40 мм получены одновременным диффузионным насыщением бором, хромом, титаном и кремнием. В качестве насыщающей среды использовали обмазку следующего состава: 45 масс. % B_4C +15 масс. % TiB_2 +25 масс. % CrB_2 +10 масс. % SiC +5 масс. % NH_4Cl , разведенную в воде. На образцы наносили слой обмазки толщиной 5 мм и просушивали на воздухе в течение 24ч. Насыщение проводили в предварительно нагретой до 950 °С камерной печи типа СНОЛ, оснащенной ПИД-регулятором «Термодат 16-Е3». Время выдержки при температуре насыщения составляло 2,5 ч. По окончании выдержки часть образцов извлекали из печи и охлаждали на спокойном воздухе, другую часть подвергали закалке с температуры насыщения с последующим низким отпуском при температуре 200 °С в течение 2 ч. После остывания образцов, остатки насыщающей обмазки смывали водой,

затем образцы промывали в кипящем мыльно-содовом растворе [16-21].

Из приготовленных образцов вырезали темплеты для металлографического анализа. Вырезку темплетов осуществляли на прецизионном отрезном станке «Microcut-201», затем осуществляли запрессовку темплетов в бакелитовый компаунд при помощи металлографического прессы «MetaPress». Шлифовку и полировку осуществляли на автоматическом шлифовально-полировальном станке «DigiPrep-P».

Металлографический анализ осуществляли при помощи металлографического микроскопа «Carl Zeiss Axio Observer Z1m» и программного комплекса «ThixoMet PRO» по методикам [22-28].

Результаты и обсуждения

Микроструктура полученных диффузионных покрытий представлена на рисунках 1 и 2. Графики распределения микротвердости по сечению диффузионного слоя представлены на рисунке 3. Микротвердость основного материала для образцов, охлажденных на воздухе, составила 335 ± 5 HV, для термообработанных образцов микротвердость сердцевины находилась на уровне 706 ± 23 HV.

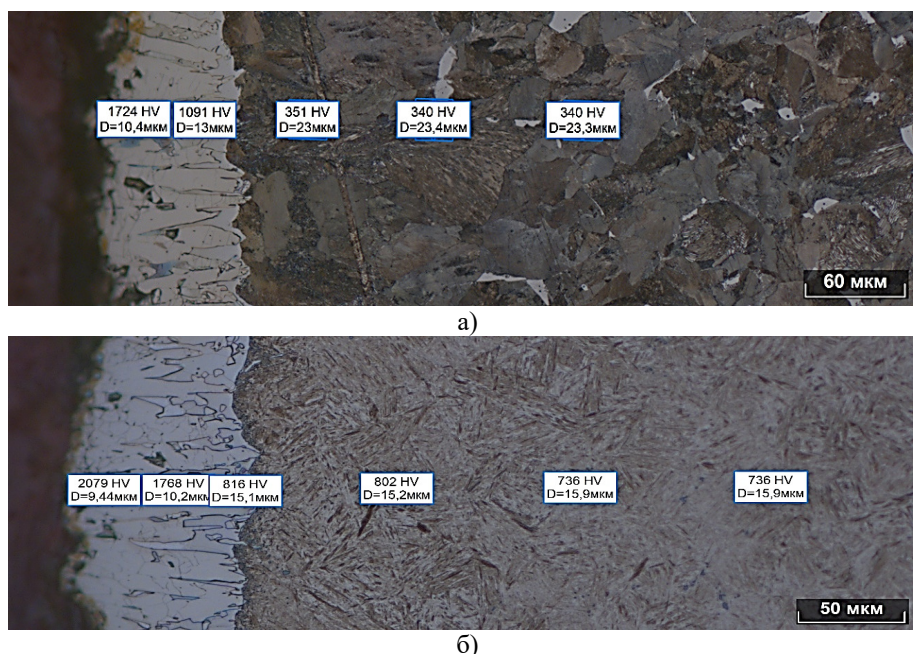


Рис.1. Микроструктура диффузионного покрытия, полученного одновременным насыщением бором, хромом и титаном с отметками значений микротвердости по сечению диффузионного покрытия на стали 30ХГСА: а) образцы, охлажденные на воздухе, б) образцы, после закалки и отпуска

Fig.1. The microstructure of the diffusion coating obtained by simultaneous saturation with boron, chromium and titanium with marks of microhardness values along the cross section of the diffusion coating on steel 30KhGSA: a) samples cooled in air, b) samples after quenching and tempering

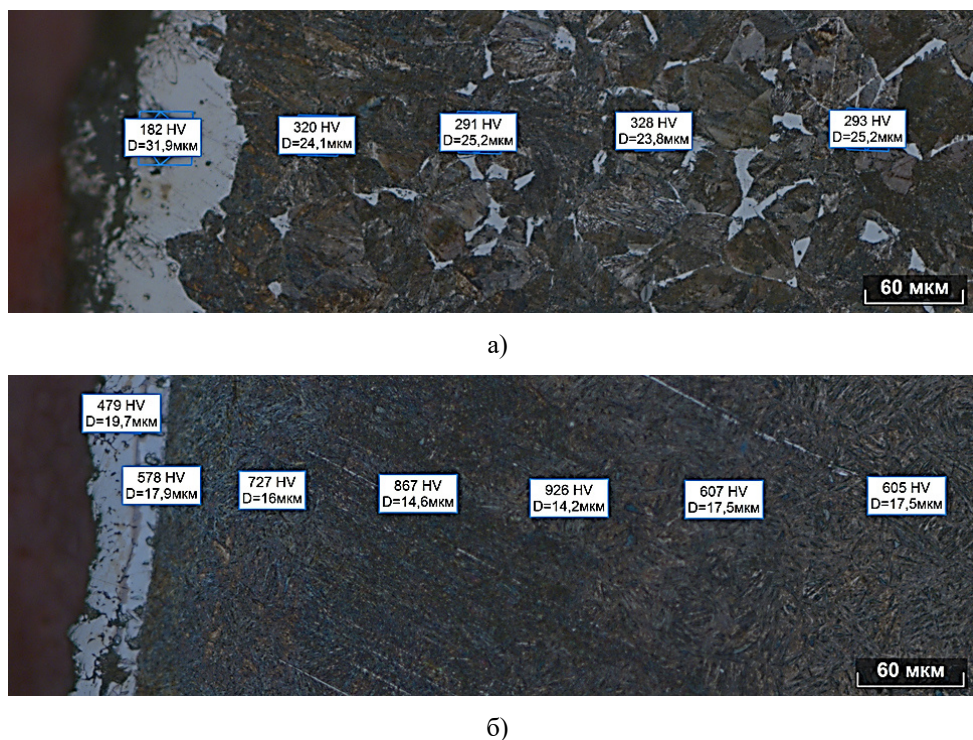


Рис.2. Микроструктура диффузионного покрытия, полученного одновременным насыщением бором, хромом, титаном и кремнием с отметками значений микротвердости по сечению диффузионного покрытия на стали 30ХГСА: а) образцы, охлажденные на воздухе, б) образцы, после закалки и отпуска

Fig.2. The microstructure of the diffusion coating obtained by simultaneous saturation with boron, chromium, titanium and silicon with marks of microhardness values along the cross section of the diffusion coating on steel 30KhGSA: a) samples cooled in air, b) samples after quenching and tempering

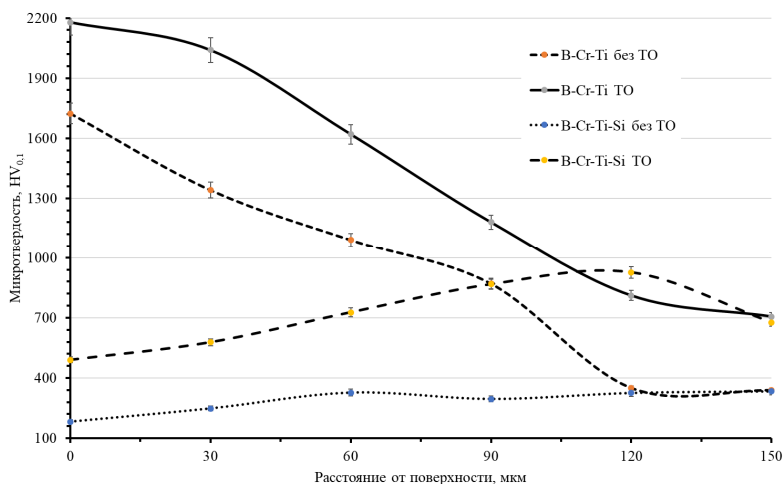


Рис.3. Распределение микротвердости по сечению диффузионного покрытия на стали 30ХГСА

Fig.3. Distribution of microhardness over the cross section of the diffusion coating on steel 30KhGSA

Заклучение

Проведенные исследования показали, что в случае введения в насыщающую смесь для борирования карбида кремния SiC в количестве

10 масс. %, на поверхности стали 30ХГСА формируется диффузионный слой, представляющий собой твердый раствор кремния в α-железе, что подтверждается значением микротвердости на уровне 180–186 HV_{0.1}. При закалке

ке диффузионно-упрочненной стали 30ХГСА твердость диффузионных покрытий также возрастает: твердость борированного слоя при закалке возрастает на 25 % по сравнению с незакаленным слоем, тогда как твердость боросилицированного слоя возрастает в 2,7 раза. При этом боросилицированный слой, имея более низкую твердость, в большей степени способен к приработке в условиях трения скольжения и при наличии агрессивных растворов солей, при которых работают опорные подшипники буровых установок.

Список литературы

1. Ляхович Л.С., Ворошнин Л.Г., Панич Г.Г., Щербаков Э.Д. Многокомпонентные диффузионные покрытия. Минск: Наука и техника, 1974. 288 с.
2. Крукович М.Г., Прусаков Б.А., Сизов И.Г. Пластичность борированных слоев. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 384 с.
3. Ляхович Л.С., Ворошнин Л.Г., Щербаков Э.Д., Панич Г.Г. Силицирование металлов и сплавов. Минск: Наука и техника, 1972. 280 с.
4. Ворошнин Л.Г. Современные износостойкие диффузионные покрытия // Перспективы развития поверхностного и объемного упрочнения сплавов: сборник науч. тр., посвященный 40-летию кафедры «Материаловедение в машиностроении». Минск: БНТУ, 2004. С. 10–21.
5. Ворошнин Л.Г. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: Спр. / Под ред. Л. С. Ляховича. М.: Металлургия, 1981. 424 с.
6. Ворошнин Л.Г., Ляхович Л.С. Борирование стали. М.: Металлургия, 1978. 239 с.
7. Гурьев М.А., Гурьев А.М., Иванов С.Г., Черных Е.В. Влияние химического состава стали на структуру и свойства диффузионных покрытий, полученных одновременным насыщением бором, хромом и титаном конструкционных сталей // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2021. Т. 18, № 2. С. 236–243.
8. Ivanov S.G., Guriev A.M., Starostenkov M.D., Ivanova T.G., Levchenko A.A. Special features of preparation of saturating mixtures for diffusion chromoborating // Russian Physics Journal. 2014. V.57, N 2. P. 266–269.
9. Sizov I.G., Mishigdorzhiyn U.L., Makharov D.M. A study of thermocycling boroaluminizing of carbon steels // Metal Science and Heat Treatment. 2012. V. 53, N 11-12. P. 592–597.
10. Сизов И.Г., Полянский И.П., Мишигдоржийн У.Л., Махаров Д.М. Влияние состава насыщающих обмазок на структуру и свойства бoroалитированного слоя // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2013. № 1 (58). С. 22–25.
11. Сизов И.Г., Смирнягина Н.Н., Семенов А.П., Прусаков Б.А., Новакова А.А., Коробков Н.В., Целовальников Б.И. Способ комбинированного борирования углеродистой стали. Патент. RU 2210617, 20.08.2003.
12. Ситкевич М.В., Старовойтова Е.М. Диффузионное насыщение стальных деталей элементами комплексов В-Si, В-С-N в порошках и обмазках без использования специального оборудования // Упрочняющие технологии и покрытия. 2006. № 11 (23). С. 19–24.
13. Ситкевич М.В., Старовойтова Е.М., Кузменко Н.Н. Использование борирования и боросилицирования при различных параметрах для повышения свойств сталей // Металлургия : республиканский межведомственный сборник научных трудов / редкол.: В. И. Тимошпольский (гл. ред) [и др.]. Минск : БНТУ, 2008. Вып. 31. С. 342–349.
14. Иванов С.Г. Развитие теоретических и технологических основ химико-термической обработки сталей и сплавов с применением совмещенного диффузионного насыщения бором, хромом и титаном: дис. докт. технич. наук. Барнаул, 2020. 356 с.
15. Все о стали 30ХГСА – состав, характеристики, сфера применения, достоинства и недостатки [Электронный ресурс] / Официальный сайт <https://areal-metal.ru/spravka/stal-30hgsa>. Дата обращения 13.03.2022.
16. Ivanov S.G., Garmayeva I.A., Guriev M.A., Guriev A.M., Starostenkov M.D. Features of multicomponent saturation alloyed by steels // Advances in Mechanical Engineering. Part of the Lecture Notes in Mechanical Engineering book series. Cham. 2015. С. 49–53.
17. Власова О.А., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Кошелева Е.А., Гурьев А.М. Повышение прочности диффузионных карбоборидных покрытий термоциклированием в процессе их получения // В сб.: Наука и молодежь – 2007 (НиМ – 2007). 2007. С. 110–112.
18. Гурьев А.М., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Черных Е.В., Иванова Т.Г. Химико-термическая обработка материалов для режу-

шего инструмента. Известия высших учебных заведений // Черная металлургия. 2015. Т. 58, № 8. С. 578–582.

19. Гурьев А.М., Иванов С.Г., Лыгденев Б.Д., Земляков С.А., Власова О.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А. Способ упрочнения деталей из конструкционных и инструментальных сталей. Пат. RU 2345175 С1, 27.01.2009. Заявл. № 2007112368/02 от 03.04.2007.

20. Иванов С.Г., Гурьев М.А., Иванов А.Г., Гурьев А.М. Влияние добавок легирующих элементов в обмазку на процессы комплексного многокомпонентного диффузионного насыщения стали // Современные наукоемкие технологии. 2010. № 7. С. 170–172.

21. Иванов С.Г., Гармаева И.А., Гурьев А.М. Оценка скорости диффузии бора и хрома при различных режимах диффузионного упрочнения поверхности стали Ст3 // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2012. Т. 9, № 2. С. 248–251.

22. Иванов С.Г., Гурьев А.М., Русакова А.В., Гурьев М.А., Старостенков М.Д. Микроструктура поверхности многокомпонентных диффузионных покрытий на основе бора // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2013. Т. 10, № 1. С. 130–133.

23. Иванов С.Г., Гурьев А.М., Земляков С.А., Гурьев М.А., Романенко В.В. Особенности методики подготовки образцов для автоматического анализа карбидной фазы стали x12ф1 после цементации в вакууме с применением программного комплекса "Thixomet PRO" // Ползуновский вестник. 2020. № 2. С. 165–168.

24. Гурьев М.А., Иванов С.Г., Гурьев А.М., Кошелева Е.А., Черных Е.В. Выявление фазового состава боридных покрытий методами цветного травления // Ползуновский альманах. 2020. № 3. С. 19–23.

25. Иванов С.Г., Гурьев М.А., Гурьев А.М., Романенко В.В. Фазовый анализ боридных комплексных диффузионных слоев на углеродистых сталях при помощи цветного травления // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2020. Т. 17, № 1. С. 74–77.

26. Guriev A.M., Mei S.Q., Guriev M.A., Chernykh E.V., Ivanov S.G. Investigation of the microstructure of diffusion coatings of carbon steel obtained by simultaneous diffusion saturation with boron, chromium and titanium // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. P. 012077.

27. Гурьев А.М., Гурьев М.А., Земляков С.А., Иванов С.Г. Выявление особенностей морфологии и фазового состава сталей методами специального металлографического травления // В сб. тезисов XVI Международной школы-семинара «Эволюция дефектных структур в конденсированных средах». Под ред. М.Д. Старостенкова. 2020. С. 83–84.

28. Иванов С.Г., Гурьев А.М., Земляков С.А., Гурьев М.А. Методика пробоподготовки образцов высоколегированных сталей для автоматического анализа карбидной фазы // Ползуновский вестник. 2020. № 3. С. 102–105.

Информация об авторах

С. Г. Иванов – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, доцент, заведующий лабораторией микроскопии Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

А. М. Гурьев – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, профессор Уханьского текстильного университета.

М. А. Гурьев – кандидат технических наук, доцент Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

И. В. Сентябов – студент Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Е. В. Черных – кандидат физико-математических наук, доцент Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

References

1. Lyakhovich, L. S., Voroshnin, L. G., Panich, G. G. & Shcherbakov, E. D. (1974). *Mnogokomponentnyye diffuzionnyye pokrytiya*. Minsk: Nauka i tekhnika. P. 288. (In Russ.).

2. Krukovich, M. G., Prusakov, B. A. & Sizov, I. G. (2010). *Plastichnost' borirovannykh sloyev*. M.: FIZMATLIT. P. 384. (In Russ.).

3. Lyakhovich, L. S., Voroshnin, L. G., Shcherbakov, E. D. & Panich, G. G. (1972). *Silitsirovaniye metallov i splavov*. Minsk: Nauka i tekhnika. P. 280. (In Russ.).

4. Voroshnin, L. G. (2004). *Sovremennyye iznosostoykiye diffuzionnyye pokrytiya*. Perspektivnyye

- tivy razvitiya i ob'yemnogo uprochneniya splavov: sbornik nauch. tr., posvyashchenny 40-letiyu kafedry «Materialovedeniye v mashinostroyenii». Minsk: BNTU. 10–21. (In Russ.).
5. Voroshnin, L. G. (1981). Khimiko-termicheskaya obrabotka metallov i splavov. Spr. Pod red. L. S. Lyakhovicha. M.: Metallurgiya. P. 424. (In Russ.).
6. Voroshnin, L. G. & Lyakhovich, L. S. (1978). Borirovaniye stali. M.: Metallurgiya. P. 239. (In Russ.).
7. Guriev, M. A., Guriev, A. M., Ivanov, S. G. & Chernykh, E. V. (2021). Vliyaniye khimicheskogo sostava stali na strukturu i svoystva diffuzionnykh poverkhnostey, odnovremennym nasyshcheniyem borom, khromom i titanom. *Fundamental'nye problemy sovremennogo materialovedeniya (Basic Problems of Material Science (BPMS))*, 18(2), 236–243. (In Russ.).
8. Ivanov, S. G., Guriev, A. M., Starostenkov, M. D., Ivanova, T. G. & Levchenko A. A. (2014). Special features of preparation of saturating mixtures for diffusion chromoborating. *Russian Physics Journal*, 57(2), 266–269.
9. Sizov, I. G., Mishigdorzhijn, U. L. & Makharov, D. M. (2012). A study of thermocycling boroaluminizing of carbon steels. *Metal Science and Heat Treatment*, 53(11-12), 592–597.
10. Sizov, I. G., Polyanskiy, I. P., Mishigdorzhijn, U. L. & Makharov, D. M. (2013). Vliyaniye sostava nasyshchayushchikh obmazok na strukturu i svoystva boroalitivogo sloya. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovaniye, instrumenty)*, 58(1). 22–25. (In Russ.).
11. Sizov, I. G., Smirnyagina, N. N., Semenov, A. P., Prusakov, B. A., Novakova, A. A., Korobkov N. V. & Tseloval'nikov, B. I. Sposob kombinirovannogo borirovaniya uglerodistoy stali. Patent. RU 2210617, 20.08.2003. (In Russ.).
12. Sitkevich, M. V. & Starovoytova, E. M. (2006). Diffuzionnoye nasyshcheniye stal'nykh ukrasheniy kompleksov B-Si, B-C-N v poroshkakh i obmazkakh bez ispol'zovaniya spetsial'nogo oborudovaniya. *Uprochnyayushchiye tekhnologii i pokrytiya*, 23(11), 19–24. (In Russ.).
13. Sitkevich, M. V., Starovoytova, E. M. & Kuz'menko, N. N. (2008). Ispol'zovaniye borirovaniya i borosilitsirovaniya pri razlichnykh parametrokh dlya priyema svoystv staley. Metallurgiya: respublikanskiy mezhvedomstvennyy sbornik nauchnykh trudov. Minsk: BNTU. 31, 342–349. (In Russ.).
14. Ivanov, S. G. (2020). Razvitiye teoreticheskikh i tekhnologicheskikh osnov khimiko-termicheskoy obrabotki staley i splavov s primeneniye sovmeshchennogo diffuzionnogo nasyshcheniya borom, khromom i titanom: dis. dokt. tekhnich. nauk. Barnaul. P. 356. (In Russ.).
15. Vse o stali 30KHGSA – sostav, kharakteristiki primeneniya, sfera, primeneniye i realizatsiya [Elektronnyy resurs] / Ofitsial'nyy sayt <https://areal-metal.ru/spravka/stal-30hgasa>. Data obrashcheniya 13.03.2022.
16. Ivanov, S. G., Garmayeva, I. A., Guriev, M. A., Guriev, A. M. & Starostenkov, M. D. (2015). Features of multicomponent saturation alloyed by steels. *Advances in Mechanical Engineering. Part of the Lecture Notes in Mechanical Engineering book series. Cham.*, 49–53.
17. Vlasova, O. A., Ivanov, S. G., Guriev, M. A., Kosheleva, E. A. & Guriev, A. M. (2007). Povysheniye prochnosti diffuzionnykh karboridnykh pokrytiy termotsiklirvaniyem v protsesse ikh polucheniya. V sb.: Nauka i molodezh – 2007 (NiM – 2007). C. 110–112.
18. Guriev, A. M., Ivanov, S. G., Guriev, M. A., Chernykh, E. V. & Ivanova, T. G. (2015). Khimiko-termicheskaya obrabotka materialov dlya rezhushchego instrumenta. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Chernaya metallurgiya*, 58(8), 578–582. (In Russ.).
19. Guriev, A. M., Ivanov, S. G., Lygdenov, B. D., Zemlyakov, S. A., Vlasova, O. A., Kosheleva, E. A. & Guriev, M. A. Sposobnost' uprochneniya detaley iz konstruktsionnykh i instrumental'nykh staley. Pat. RU 2345175 S1, 27.01.2009. Zayavl. N 2007112368/02 ot 03.04.2007. (In Russ.).
20. Ivanov, S. G., Guriev, M. A., Ivanov, A. G. & Guriev, A. M. (2010). Ispol'zovaniye vkluycheniya legal'nykh elementov v obmazku protsessov kompleksnogo mnogokomponentnogo diffuzionnogo nasyshcheniya stali. *Sovremennyye naukoemykiye tekhnologii*, (7), 170–172. (In Russ.).
21. Ivanov, S. G., Garmayeva, I. A. & Guriev, A. M. (2012). Otsenka skorosti diffuzii bora i khroma pri razlichnykh rezhimakh diffuzionnogo uprochneniya poverkhnosti stali St3. *Fundamental'nye problemy sovremennogo materialovedeniya (Basic Problems of Material Science (BPMS))*, 9(2), 248–251. (In Russ.).
22. Ivanov, S. G., Guriev, A. M., Rusakova, A. V., Guriev, M. A. & Starostenkov, M. D. (2013). Mikrostruktura poverkhnosti mnogokom-

ponentnykh diffuzionnykh pokrytiy na osnove bora. *Fundamental'nye problemy sovremennogo materialovedeniya (Basic Problems of Material Science (BPMS))*, 10(1), 130–133. (In Russ.).

23. Ivanov, S. G., Guriev, A. M., Zemlyakov, S. A., Guriev, M. A. & Romanenko, V. V. (2020). Osobennosti metodiki podgotovki obraztsov dlya avtomaticheskogo analiza karbidnoy fazy kh12f1 posle tsementatsii v vakuume s primeneniyem slozhnogo kompleksa "Thixomet PRO". *Polzunovskiy vestnik*, (2), 165–168. (In Russ.).

24. Guriev, M. A., Ivanov S. G., Guriev A. M., Kosheleva E. A. & Chernykh E.V. (2020). Vyyavleniye sostava boridnykh poroshkov tsvetnogo travleniya. *Polzunovskiy al'manakh*, (3), 19–23. (In Russ.).

25. Ivanov, S. G., Guriev, M. A., Guriev, A. M. & Romanenko, V. V. (2020). Fazovyy analiz boridnykh kompleksnykh diffuzionnykh sloeyev na uglerodistykh stalyakh pri pomoshchi tsvetnogo travleniya. *Fundamental'nye problemy sovremennogo materialovedeniya (Basic Problems of Material Science (BPMS))*, 17(1), 74–77. (In Russ.).

26. Guriev, A. M., Mei, S. Q., Guriev, M. A., Chernykh, E. V. & Ivanov, S. G. (2019). Investigation of the microstructure of diffusion coatings of carbon steel obtained by simultaneous diffusion saturation with boron, chromium and titanium. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 012077.

27. Guriev, A. M., Guriev, M. A., Zemlyakov, S. A. & Ivanov, S. G. (2020). Vyyavleniye osobennostey morfologii i sochetaniya sostava staleyimi chastnykh metallograficheskikh travleniy. Sbornik tezisev XVI Mezhdunarodnoy shkolyseminara «Evolutsiya defektnykh struktur v kondensirovannykh sredakh». Pod red. M.D. Starostenkova, 83–84. (In Russ.).

28. Ivanov, S. G., Guriev, A. M., Zemlyakov, S. A. & Guriev, M. A. (2020). Metodika probopodgotovki obraztsov vysokolegirovannykh staley dlya avtomaticheskogo analiza karbidnoy fazy. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 102–105. (In Russ.).

Information about the authors

S. G. Ivanov – Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, Associate Professor, Head of the Laboratory of Microscopy, I.I. Polzunov Altai State Technical University.

A. M. Guryev – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of department, I.I. Polzunov Altai State Technical University, Wuhan Textile University.

M. A. Guryev – Candidate of Technical Sciences, Assistant professor, I.I. Polzunov Altai State Technical University.

I. V. Sentyabov – Student, I.I. Polzunov Altai State Technical University.

E. V. Chernykh – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Assistant professor, I.I. Polzunov Altai State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 17.01.2022; одобрена после рецензирования 27.01.2022; принята к публикации 08.02.2022.

The article was received by the editorial board on 17 Jan. 22; approved after reviewing 27 Jan. 22; accepted for publication 08 Feb. 22.