



РАЗДЕЛ 3. МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Научная статья
05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)
УДК 621.785.5
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.031

ФОРМИРОВАНИЕ ДИФфуЗИОННОГО СЛОЯ НА СТАЛИ 45 ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ НАСЫЩЕНИИ БОРОМ, ХРОМОМ И ТИТАНОМ

Михаил Алексеевич Гурьев ¹, Сергей Геннадьевич Иванов ²,
Алексей Михайлович Гурьев ³, Бурьял Дондокович Лыгденов ⁴

^{1, 2, 3} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия
^{3, 4} Уханьский текстильный университет, Ухань, КНР
⁴ Восточно-Сибирский университет технологий и управления, Улан-Удэ, Россия

¹ gurievma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9191-1787>
² serg225582@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5965-0249>
³ gurievam@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7570-8877>
⁴ lygdenov59@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3580-6165>

Аннотация. Однокомпонентное упрочнение стальных изделий (борирование, хромирование, азотирование, цементация) повышает износостойкость, при этом оно повышает хрупкость поверхности, снижает стойкость при тяжелых циклических нагрузках, имеет относительно низкую коррозионную стойкость. Многокомпонентные покрытия, полученные путем комплексного насыщения сталей и сплавов одновременно бором, хромом и титаном, имеют превосходные характеристики износостойкости, пластичности и коррозионной стойкости. Проведены исследования по определению кинетики формирования покрытия на стали 45 при одновременном диффузионном насыщении бором, хромом и титаном. Установлено, что экспериментальные параметры толщины диффузионного слоя боридов во времени превышают расчетные значения. Диффузионный слой имеет толщину 120 мкм при продолжительности насыщения 2,5 часа, 155 мкм при продолжительности насыщения 5 часов и 180 мкм при продолжительности насыщения 7,5 часов. Максимальная микротвердость диффузионного покрытия наблюдается не на поверхности, а на некотором расстоянии от нее (в среднем на глубине 45–60 мкм от поверхности), и достигает значений около 3200 HV_{0,1}. При этом на поверхности образцов микротвердость принимает минимальное значение около 1800 HV_{0,1}. Разработанный способ и состав позволяет получать качественные боридные покрытия. Нехарактерное распределение микротвердости с увеличением от поверхности к середине слоя дает возможность применения финишной обработки (шлифовки и / или полировки) без значительных потерь свойств, присущих диффузионным боридным слоям, что позволяет значительно расширить область применения борирования ответственных деталей машин, имеющих высокие требования к размерной точности и качеству поверхности.

Ключевые слова: бор, хром, титан, сталь, износостойкость, микроструктура, поверхностное упрочнение, диффузия, борирование.

Благодарности: Микроструктурные исследования выполнены в Лаборатории структурных исследований ЦКПЛиО АлтГТУ.

Для цитирования: Формирование диффузионного слоя на стали 45 при одновременном насыщении бором хромом и титаном / М. А. Гурьев [и др.] // Ползуновский вестник. 2021. № 2. С. 218–224. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.031.

Original article

FORMATION OF A DIFFUSION LAYER ON STEEL 45 WITH SIMULTANEOUS SATURATION WITH BORON, CHROME AND TITANIUM

Mikhail A. Guriev¹, Sergey G. Ivanov², Alexey M. Guriev³, Burial D. Lygdenov⁴

^{1, 2, 3} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

^{3, 4} Wuhan Textile University, Wuhan, China

⁴ East Siberian University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia

¹ gurievma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9191-1787>

² serg225582@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5965-0249>

³ gurievam@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7570-8877>

⁴ lygdenov59@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3580-6165>

Abstract. *Single-component hardening of steel products (boriding, chromium plating, nitriding, carburizing) increases wear resistance, while it increases surface brittleness, reduces resistance to heavy cyclic loads, and has a relatively low corrosion resistance. Multicomponent coatings obtained by complex saturation of steels and alloys with boron, chromium and titanium at the same time, have excellent characteristics of wear resistance, ductility and corrosion resistance. Research has been carried out to determine the kinetics of coating formation on steel 45 with simultaneous diffusion saturation with boron, chromium and titanium. It was found that the experimental parameters of the boride diffusion layer thickness in time exceed the calculated values. The diffusion layer has a thickness of 120 μm with a saturation time of 2.5 hours, 155 μm with a saturation time of 5 hours, and 180 μm with a saturation time of 7.5 hours. The maximum microhardness of the diffusion coating is observed not on the surface, but at some distance from it (on average, at a depth of 45-60 μm from the surface), and reaches values of about 3200 HV0.1. In this case, on the surface of the samples, the microhardness takes on a minimum value of about 1800 HV0.1. The developed method and composition makes it possible to obtain high-quality boride coatings. The uncharacteristic distribution of microhardness with an increase from the surface to the middle of the layer makes it possible to use finishing (grinding and / or polishing) without significant loss of properties inherent in diffusion boride layers, which makes it possible to significantly expand the scope of boriding of critical machine parts that have high requirements for dimensional accuracy and surface quality.*

Keywords: boron, chromium, titanium, steel, wear resistance, microstructure, surface hardening, diffusion, boriding.

Acknowledgements: Microstructural studies were carried out at the Laboratory for Structural Research CfcULR&D ASTU.

For citation: Guriev, M. A., Ivanov, S. G., Guriev, A. M. & Lygdenov, B. D. (2021). Formation of a diffusion layer on steel 45 with simultaneous saturation with boron, chrome and titanium. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 218-224. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.031.

ВВЕДЕНИЕ

Термодиффузионные покрытия имеют ряд преимуществ перед покрытиями, получаемыми путем напыления либо наплавки. Главное преимущество термодиффузионных покрытий – это возможность объемной термической обработки всего упрочняемого изделия по окончании насыщения без применения повторного нагрева. Тогда как при напылении и

наплавке термической обработке, как правило, подвергается только поверхность, а для объемной закалки требуется объемный нагрев. Эффективными методами защиты железоуглеродистых сплавов от износа являются (по мере снижения эффективности): борирование, хромирование, азотирование, цементация. Однако однокомпонентные боридные слои повышают только стойкость против износа, одновременно повышают хрупкость

поверхности и снижают стойкость при тяжелых циклических нагрузках. Кроме того, однокомпонентные боридные покрытия имеют относительно низкую коррозионную стойкость. Естественным выходом из этой ситуации является получение комплексных диффузионных покрытий путем одновременного или последовательного насыщения бором и, например, хромом и титаном. Диффузионные боридные покрытия, содержащие хром и / или титан, имеют более высокие показатели твердости, пластичности и коррозионной стойкости [1–7]. И, следовательно, многокомпонентные покрытия будут повышать ресурс работы упрочненных деталей в большей степени по сравнению с однокомпонентными покрытиями.

В предыдущих исследованиях нами было обнаружено, что диффузионное покрытие В–Cr–Ti, полученное путем комплексного насыщения сталей и сплавов одновременно бором, хромом и титаном, имеет превосходные характеристики износостойкости, пластичности и коррозионной стойкости. В настоящей работе исследовано влияние времени диффузи-

онного насыщения на микроструктуру и свойства В–Cr–Ti покрытия. Изучены и проанализированы эволюция микроструктуры и кинетика роста В–Cr–Ti диффузионных слоев.

МЕТОДЫ

В качестве основы была выбрана конструкционная углеродистая сталь 45 с номинальным составом 0,47 % С, 0,23 % Cr, 0,77 % Mn, 0,37 % Si, 0,13 % Ni и остаток Fe (в мас. %). Перед нанесением покрытия основа была разрезана на образцы размером 30 × 20 × 10 мм.

Для приготовления покрытия В–Cr–Ti использовался процесс одновременного диффузионного насыщения из насыщающей обмазки. Состав насыщающей обмазки: 50 % карбида бора в качестве сырья борирования, 20 % (Ti + Al₂O₃) в качестве сырья титанирования, 20 % (Cr + Al₂O₃) в качестве сырья хромирования, 5 % NH₄Cl в качестве активатора и 5 % графита в качестве модификатора. Все порошки имели диаметр менее 40 мкм. Для приготовления обмазки все порошки перемешивали в блендере с водой в течение 20 мин.

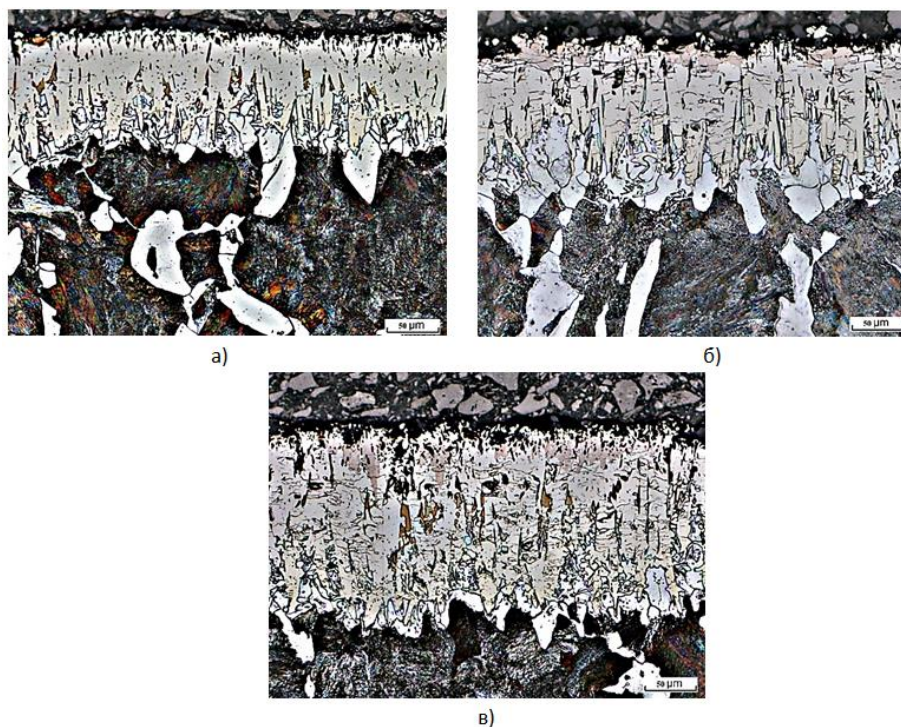


Рисунок 1 – Микроструктура диффузионного покрытия, полученного при диффузионном насыщении поверхности стали 45 одновременно бором, хромом и титаном:
а) образец L2.5; б) образец L5; в) образец L7.5

Figure 1 - Microstructure of a diffusion coating obtained by diffusion saturation of the surface of steel 45 with boron, chromium and titanium simultaneously: a) sample L2.5, b) L5, c) L7.5

ФОРМИРОВАНИЕ ДИФфуЗИОННОГО СЛОЯ НА СТАЛИ 45 ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ НАСЫЩЕНИИ БОРОМ, ХРОМОМ И ТИТАНОМ

После нанесения насыщающей обмазки на поверхность образцов, производили сушку в течение 2–3 часов под тепловой пушкой при 60 °С. Диффузионное насыщение проводили в камерной печи при 950 °С в течение 2,5 ч. При этом использовали три времени диффузионного насыщения: 2,5; 5 и 7,5 ч. Образцы были обозначены как L2.5, L5 и L7.5 соответственно. Для получения подробной информации о составах насыщающих сред и процессе диффузионного насыщения сталей и сплавов одновременно бором, хромом и титаном, можно обратиться к [1–7].

Вырезку образцов производили на прецизионном отрезном станке «MICROCUT–201», вырезанные темплеты запрессовывались на металлографическом прессе «METAPRESS» в компаунд BAKELIT. Шлифовку и полировку осуществляли на автоматическом шлифовально-полировальном станке «DIGIPREP». Исследование микроструктуры осуществляли при помощи программно-аппаратного комплекса «Thixomet PRO» по методикам, приве-

денным в [8–15]. Изображения микроструктуры диффузионных покрытий представлены на рисунке 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Как видно из представленных на рисунке 1 микроструктур, толщина диффузионного слоя растет пропорционально увеличению времени выдержки.

Согласно расчету толщины диффузионного слоя по данным источников [16–19] и по формуле:

$$h = \sqrt{D \cdot t} \quad (1)$$

где h – толщина диффузионного слоя

D – коэффициент диффузии

t – время процесса насыщения.

Произведенные согласно выражению (1) расчеты прогнозируемой толщины диффузионного слоя при значениях коэффициента диффузии D по данным [16–19] привели к следующим значениям толщины диффузионного слоя (представлено на рисунке 2).

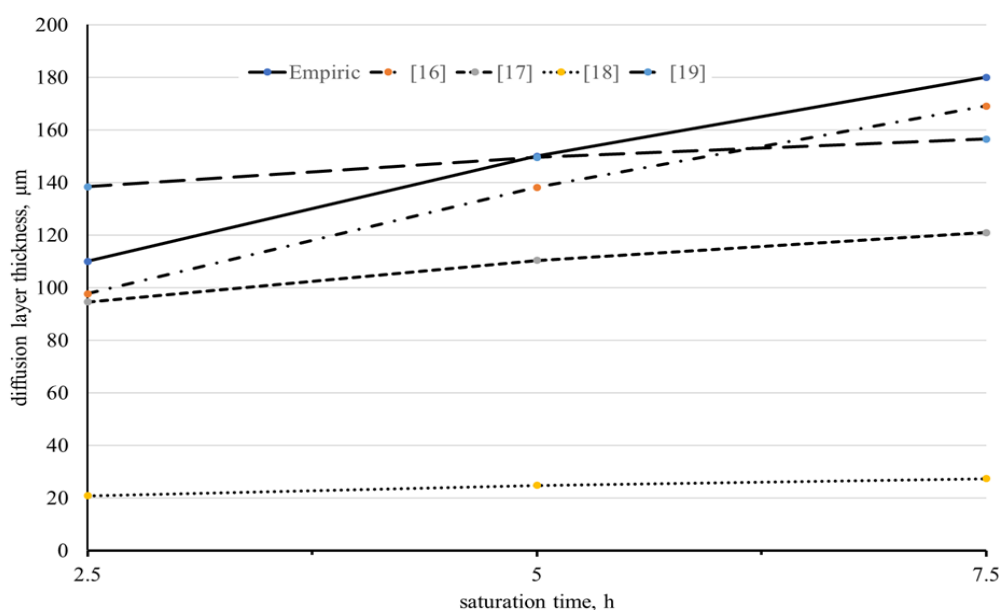


Рисунок 2 - Сравнение расчетной и прогнозной толщины диффузионного слоя боридов. [16–19] – соответственно расчетные показатели толщины слоя боридов, выполненные согласно данным источникам [16–19]

Figure 2 - Comparison of the calculated and predicted thickness of the boride diffusion layer. [16–19] - respectively, the calculated values of the thickness of the boride layer, made according to these sources [16–19]

Как видно из представленного графика, экспериментальные показатели толщины диффузионного слоя боридов с течением времени превышают расчетные значения. Главное объяснение данному факту находится в

том, что по мере увеличения времени выдержки при температуре насыщения и в случае одновременного насыщения несколькими компонентами, коэффициент диффузии изменяется во времени пропорционально времени

выдержки и химическому составу насыщающей среды. В пользу данного предположения говорит тот факт, что согласно теории Пригожина–Дефэя [20–21], химическая активность насыщающей среды зависит от химического потенциала насыщаемой поверхности. С учетом того, что химический состав насыщаемой поверхности изменяется во времени, меняется также и химическая активность насыщаемой поверхности. Как следствие, будет изменяться и коэффициент диффузии вводимых атомов пропорционально химическому составу насыщаемой поверхности. Наиболее близкие значения коэффициента диффузии D в нашем случае имеет коэффициент диффузии, определенный в [18].

Помимо исследования кинетики формирования диффузионного покрытия, исследовали также распределение микротвердости по сечению диффузионного покрытия. Результаты измерения микротвердости представлены на рисунке 3. Как видно из представленных графиков, при увеличении времени насыщения растет как толщина диффузионного покрытия, так и его микротвердость. Максимальная микротвердость диффузионного покрытия наблюдается не на поверхности, а на некотором удалении от нее. В среднем, на глубине 45–60 мкм от поверхности. При этом микротвердость на поверхности диффузионного покрытия, наоборот, стремится принять минимальное значение около 1800 HV_{0.1}.

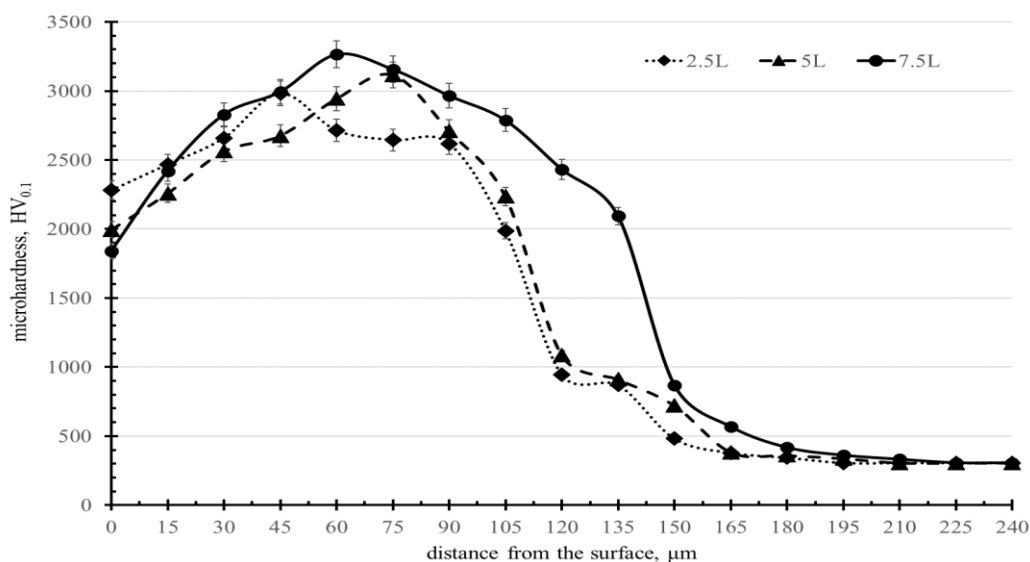


Рисунок 3 – Распределение микротвердости по сечению диффузионного слоя

Figure 3 -Distribution of microhardness over the cross section of the diffusion layer

Такое распределение микротвердости во многих случаях эксплуатации диффузионно упрочненных деталей будет благоприятным, так как это дает деталям возможность незначительного износа поверхности. И в результате этого – более плотное прилегание контактирующих поверхностей и более благоприятное распределение нагрузок.

ВЫВОДЫ

Разработанный способ и состав позволяет получать качественные боридные покрытия. Нехарактерное распределение микротвердости с увеличением от поверхности к середине слоя дает возможность применения финишной обработки (шлифовки или поли-

ровки) без значительных потерь свойств, присущих диффузионным боридным слоям, что позволяет значительно расширить область применения борирования ответственных деталей машин, имеющих высокие требования к размерной точности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ivanov S.G., Guriev A.M., Starostenkov M.D. [et al.] Special Features of Preparation of Saturating Mixtures for Diffusion Chromoborating // Russ Phys J. 57. P. 266–269, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11182-014-0234-6>.
2. Comparative study of saturating power boriding media of different composition / I.A. Garmeva [et al.] // Lett. Mater. 2016. 6 (4). P. 262–265.
3. Ivanov S.G., Guriev M.A., Loginova M.V. [et al.]. Boriding of titanium OT4 from powder saturating

ФОРМИРОВАНИЕ ДИФФУЗИОННОГО СЛОЯ НА СТАЛИ 45 ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ НАСЫЩЕНИИ БОРОМ, ХРОМОМ И ТИТАНОМ

media // Russ. J. Non-ferrous Metals 58. P. 244–249 (2017). <https://doi.org/10.3103/S1067821217030051>.

4. S.Q. Mei [et al.] 2019 IOP Conf. Ser. : Mater. Sci. Eng. 479 012055.

5. A.M. Guriev [et al.]. 2019 IOP Conf. Ser. : Mater. Sci. Eng. 479 012077.

6. A. Guryev, S. Ivanov, M. Guryev, S. Mei, Z. Quan. Complex diffusion saturation of carbon steel 1045 with boron, chromium, titanium and silicon, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 1100, p. 012048, 2021.

7. A.M. Guryev [et al.] 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1100 012048 DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1100/1/012048>.

8. Research on the Origin of Nonmetallic Inclusions in High-Strength Low-Alloy Steel Using Automated Feature Analysis / Kazakov A.A., Ryaboshuk S.V., Lyubochko D.A., Chigintsev L.S. // Microscopy and Microanalysis. 2015. V. 21. № 3. P. 1755–1756.

9. Vander Voort, G.F. Evaluation of Normal Versus Non-Normal Grain Size Distributions / Vander Voort G.F., Pakhomova O., Kazakov A. // Materials Performance and Characterization. 2016. V. 5. № 5. P. 521–534.

10. Metallurgical expertise as the base for determination of nature of defects in metal products / Kazakov A., Kovalev S., Ryaboshuk S. // CIS Iron and Steel Review. 2007. № 1–2. P. 7–13.

11. Nonmetallic Inclusions and Acicular Ferrite in Arc Welds of Pipeline Steels / Kazakov A., Lyubochko D. // Microscopy and Microanalysis. 2015. V. 21. № 3. P. 1749–1750.

12. Kazakov A., Kiselev D. Industrial Application of Thixomet // Metallography, Microstructure and Analysis. 2016. P. 294–301. DOI 10.1007/s13632-016-0289-6.

13. Vander Voort, G.F. ASM Handbook, Volume 9: Metallography and Microstructures. 2004. P. 493–512. DOI: 10.1361/asmhba0003752.

14. Vander Voort, G.F. Computer-Aided Microstructural Analysis of Specialty Steels // Materials characterization. 1991. № 27. P. 241–260.

15. Особенности методики подготовки образцов для автоматического анализа карбидной фазы стали X12Ф1 после цементации в вакууме с применением программного комплекса "ThixometPRO"/ Иванов С.Г. [и др.] // Ползуновский вестник. – 2020. № 2. С. 165–168.

16. Application of integral method for investigating the boriding kinetics of AISI 316 steel. ChaimaZouzou and Mourad Keddou, Metall. Res. Technol., 117 2. (2020) 202. DOI: <https://doi.org/10.1051/metal/2020011>.

17. Chaima Zouzou, Mourad Keddou, Application of integral method for investigating the boriding kinetics of AISI 316 steel, Metall. Res. Technol. 117, 202. (2020).

18. Atila Gürhan Çelik Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces, 2020. Vol. 56. № 4. P. 780–784. © Pleiades Publishing, Ltd., 2020.

19. Borsyakov A.S., Yuryev V.A., Ozyerlyev V.V., Levchenko E.V. (2020). Mathematical Modeling of the Kinetics of Counter Diffusion During the Formation of Boron-Containing Coatings on Steels. In:

Levchenko E., Dappe Y., Ori G. (eds) Theory and Simulation in Physics for Materials Applications. Springer Series in Materials Science. Vol. 296. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37790-8_14.

20. Ролдугин В.И. Физикохимия поверхности. Долгопрудный : ИД "Интеллект", 2008. 568 с.

21. Пригожин И., Дефэй Р. Химическая термодинамика ; пер. с англ., 2-е изд. М. : Бином. Лаборатория знаний, 2010. 533 с.

Информация об авторах

М. А. Гурьев – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроительные технологии и оборудование» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

С. Г. Иванов – доктор технических наук, заведующий лабораторией Центра коллективного пользования лабораторно-исследовательским оборудованием Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

А. М. Гурьев – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Начертательная геометрия и графика» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, профессор Уханьского текстильного университета (КНР).

Б. Д. Лыгденов – доктор технических наук, профессор кафедры «Металловедение и технологии обработки материалов» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, профессор Уханьского текстильного университета (КНР).

REFERENCES

1. Ivanov, S.G., Guriev, A.M., Starostenkov, M.D. et al. (2014). Special Features of Preparation of Saturating Mixtures for Diffusion Chromoborating. *Russ Phys J* (57), 266-269. <https://doi.org/10.1007/s11182-014-0234-6>.

2. Garmaeva, I.A., Guriev, A.M., Ivanova, T.G., Guriev, M.A. & Ivanov, S.G. (2016). Comparative study of saturating power boriding media of different composition. *Lett. Mater*, 6(4) 262-265.

3. Ivanov, S.G., Guriev, M.A., Loginova, M.V. et al. (2017). Boriding of titanium OT4 from powder saturating media. *Russ. J. Non-ferrous Metals*, (58), 244–249. doi.org/10.3103/S1067821217030051.

4. S.Q. Mei et al (2019). IOP Conf. Ser. : Mater. Sci. Eng. 479 012055.

5. A.M. Guriev et al (2019). IOP Conf. Ser. : Mater. Sci. Eng. 479 012077.

6. Guryev, A., Ivanov, S., Guryev, Mei, M. S. & Quan, Z. (2021). "Complex diffusion saturation of car-

bon steel 1045 with boron, chromium, titanium and silicon", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, (1100), 012048.

7. A.M. Guryev et al 2021 IOP Conf. Ser. : Mater. Sci. Eng. 1100 012048 DOI: [https://doi.org/ 10.1088/1757-899X/1100/1/012048](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1100/1/012048).

8. Kazakov, A.A., Ryaboshuk, S.V., Lyubochko, D.A. & Chigintsev, L.S. (2015). Research on the Origin of Nonmetallic Inclusions in High-Strength Low-Alloy Steel Using Automated Feature Analysis. *Microscopy and Microanalysis*. 21(3), 1755-1756.

9. Vander Voort, G.F., Pakhomova, O. & Kazakov, A. (2016). Evaluation of Normal Versus Non-Normal Grain Size Distributions. *Materials Performance and Characterization*, 5(5), 521-534.

10. Kazakov, A., Kovalev, S. & Ryaboshuk, S. (2007). Metallurgical expertise as the base for determination of nature of defects in metal products. *CIS Iron and Steel Review*, (1-2), 7-13.

11. Kazakov, A. & Lyubochko, D. (2015). Non-metallic Inclusions and Acicular Ferrite in Arc Welds of Pipeline Steels. *Microscopy and Microanalysis*, 21(3), 1749-1750.

12. Kazakov, A. & Kiselev, D. (2016). Industrial Application of Thixomet. *Metallography, Microstructure and Analysis*, P. 294-301. DOI 10.1007/s13632-016-0289-6.

13. Vander Voort, G.F. (2004). ASM Handbook. *Metallography and Microstructures*, (9), 493–512. DOI: 10.1361/asmhba0003752.

14. Vander Voort, G.F. (1991). Computer-Aided Microstructural Analysis of Specialty Steels. *Materials characterization*, (27), 241-260.

15. Ivanov, S.G., Guriev, A.M., Zemlyakov, S.A., Guriev, M.A. & Romanenko, V.V. (2020). Specific features of the sample preparation technique for automatic analysis of the carbide phase of X12Φ1 steel after carburizing in vacuum using the "Thixomet PRO" software. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 165-168. (In Russ.).

16. Chaima, Zouzou & Mourad, Keddad (2020). Application of integral method for investigating the boriding kinetics of AISI 316 steel., *Metall. Res. Technol.*, (117), 2 202. DOI: <https://doi.org/10.1051/metal/2020011>.

17. Chaima, Zouzou & Mourad, Keddad (2020).

Application of integral method for investigating the boriding kinetics of AISI 316 steel, *Metall. Res. Technol.*, (117), 202.

18. Atila Gürhan Çelik Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. (2020). © *Pleiades Publishing, Ltd.*, 56(4), 780-7842020.

19. Borsyakov, A.S., Yuryev, V.A., Ozyerlyev, V.V. & Levchenko, E.V. (2020). Mathematical Modeling of the Kinetics of Counter Diffusion During the Formation of Boron-Containing Coatings on Steels. In: Levchenko, E., Dappe, Y., Ori, G. (eds). *Theory and Simulation in Physics for Materials Applications. Springer Series in Materials Science*, Cham : Springer. vol 296. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37790-8_14.

20. Roldugin, V.I. (2008). *Physicochemistry of surfaces*. Dolgoprudny: PH "Intellect" (In Russ.).

21. Prigozhin, I. & Defey, R. (2010). *Chemical thermodynamics*. Moscow :Binom. Laboratoriyaznaniy. (In Russ.).

Information about the authors

M. A. Guryev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technologies and Equipment, Polzunov Altai State Technical University.

S. G. Ivanov – Doctor of Technical Sciences, Head of the Laboratory of the Center for Shared Use of Laboratory and Research Equipment, Polzunov Altai State Technical University.

A. M. Guryev – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Descriptive Geometry and Graphics, Polzunov Altai State Technical University, Professor of the Wuhan Textile University (PRC).

B. D. Lygdenov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Metallurgy and Materials Processing Technologies of East Siberia State University of Technology and Management, Professor of Wuhan Textile University (PRC).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 01.05.2021; одобрена после рецензирования 24.05.2021; принята к публикации 01.06.2021.

The article was submitted to the editorial board on 01 May 21; approved after review on 24 May 21; accepted for publication on 01 June 21.