

## ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА\*

*Гурьев А.М., д.т.н., профессор, директор института развития  
Большого Алтая (gurievam@mail.ru)*

*Иванов С.Г., к.т.н., инженер кафедры физики*

*Гурьев М.А., к.т.н., докторант кафедры физики*

*Черных Е.В., к.ф.-м.н., доцент кафедры физики, докторант кафедры  
начертательной геометрии и графики*

*Иванова Т.Г., аспирант кафедры начертательной геометрии и графики*

**Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова**  
(656038, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 46)

**Аннотация.** Исследована возможность повышения износостойкости твердых сплавов, быстрорежущей стали, высокоуглеродистой стали, которые применяются для создания режущего инструмента. Упрочнение проведено методами химико-термической обработки путем комплексного диффузионного насыщения бором и хромом – борохромированием для вольфрам-кобальтового спеченного материала ВК8, а также бором и титаном – бортитанированием для быстрорежущей стали Р6М5. Выбор вольфрам-кобальтового спеченного материала ВК8 и быстрорежущей стали Р6М5 в качестве объектов изучения обусловлен все более широким спектром применения высокопрочных малоизнашивающихся материалов в народном хозяйстве. Исследован химический состав и микротвердость, измерена микротвердость полученных диффузионных покрытий на упрочняемых материалах. По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что химико-термическая обработка является перспективным способом повышения прочностных и эксплуатационных характеристик материалов исследуемых классов.

**Ключевые слова:** быстрорежущая сталь, высокоуглеродистая сталь, бор, хром, химико-термическая обработка, диффузионное насыщение, твердый сплав, прочность, износостойкость, режущий инструмент.

**DOI:** 10.17073/0368-0797-2015-8-578-582

Прогресс в области новых материалов позволяет создавать материалы с требуемым набором эксплуатационных свойств. На первый план выходит задача создания новых и совершенствования уже имеющихся материалов, в том числе и для обработки. Обработка резанием является наиболее часто применяемой операцией формообразования, поэтому повышение стойкости металлорежущего инструмента – одна из первоочередных задач современного материаловедения. Повышение ресурса работы режущего инструмента на 10 – 30 % по предварительным расчетам в масштабах России способно дать экономический эффект от 250 до 400 млн. руб./г.

Одни из наиболее применяемых материалов для напаянных резцов благодаря своим свойствам (высокой прочности, твердости, красностойкости) – металлокерамические материалы. Наибольшее распространение имеют композиционные составы на основе карбида вольфрама.

В настоящей работе исследована возможность повышения износостойкости твердых сплавов, быстроре-

жущей стали, высокоуглеродистой стали, применяемых для создания режущего инструмента. В качестве исследуемых материалов взяты быстрорежущая сталь Р6М5, сталь У10, вольфрам-кобальтовый спеченный материал ВК8. Упрочнение вели методами химико-термической обработки (ХТО) путем комплексного диффузионного насыщения бором и хромом – борохромированием [1 – 7].

Процесс упрочнения вели из насыщающей обмазки на основе карбида бора, содержащей активированные атомы бора и хрома согласно рекомендациям работ [3 – 6]. Температура насыщения составила 1150 °С для сплава ВК8 и стали Р6М5 и 920 °С для стали У10; время насыщения для всех материалов было выбрано одинаковое – 2,5 ч. Обработку образцов ВК8 и стали У10 осуществляли в камерной печи типа СНОЛ, оснащенной ПИД-контроллером «Термодат 16Е-3». Обработку образцов из стали Р6М5 осуществляли согласно рекомендациям работ [1, 4, 8]. После насыщения образцы из вольфрам-кобальтового спеченного материала ВК8 извлекали из печи, остужали на воздухе, после чего очищали от обмазки, промывали в мыльной воде. Образцы из стали Р6М5 отпуску не подвергали, так как

\* Работа выполнена при поддержке задания Минобрнауки по приоритетным направлениям развития науки и техники – тема № 885 и гранта Президента РФ МК-656.2014.8.

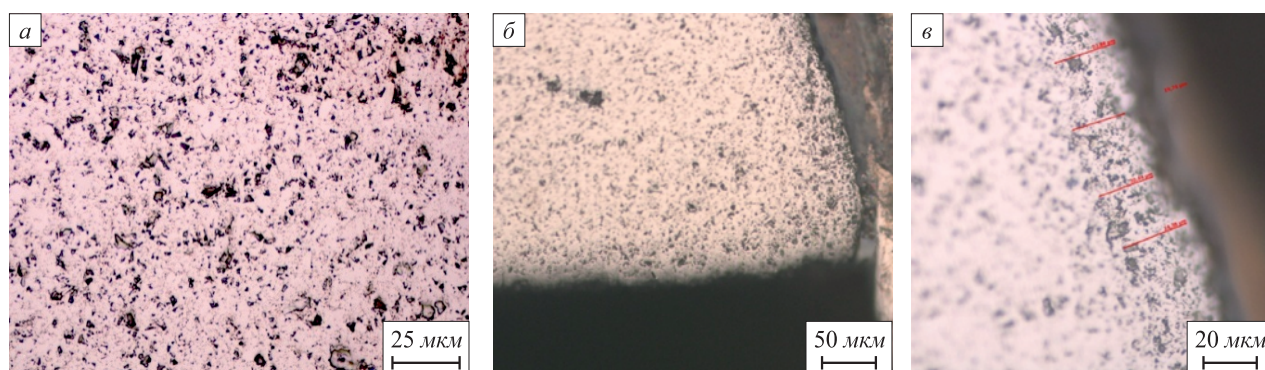


Рис. 1. Микроструктура металлокерамического сплава ВК8 в исходном состоянии (а) и структура упрочненного слоя (б, в)

Fig. 1. Microstructure of ceramic-metal VK8 alloy in an initial state (a) and the structure of the hardened layer (b, c)

обработке подвергался тонкий поверхностный слой толщиной не более 0,5 мм.

Резку образцов для металлографических исследований осуществляли абразивными кругами на основе кубического нитрида бора на прецизионном отрезном станке «MicroCut-201», после чего образцы запрессовывали в фенольную смолу на автоматическом прессе «MetaPress». Механическую шлифовку проводили на автоматическом полировальном станке «DigiPrep». После шлифовки осуществляли электролитическую полировку и травление. Полученные микроструктуры изучали на оптическом микроскопе «Carl Zeiss AxioObserver Z1m» (при различных увеличениях) с фиксацией встроенной цифровой камеры AxioCAM mRC5.

Микроструктура металлокерамического сплава ВК8 представлена на рис. 1. Исходная структура ВК8 представляет собой зерна карбида вольфрама неправильной формы, скрепленные между собой кобальтовой связкой. Размер зерен карбида вольфрама меняется в пределах 15 – 2 мкм. После ХТО размер зерен карбида вольфрама возрастает до 3,5 – 18,0 мкм. На поверхности материала образуется диффузионный слой, предположительно состоящий из боридов и карбоборидов вольфрама и титана сложного состава. Диффузионный слой на твердом сплаве не имеет игольчатой структуры в отличие от сталей, однако имеет слегка размытую, но

все же четко различимую границу на глубине порядка 19 – 23 мкм от поверхности.

Распределение химических элементов по сечению покрытия на образце ВК8 приведено в табл. 1.

Микротвердость упрочненного и исходного образцов ВК8, измеренная на полуавтоматическом микротвердомере МН-6 при нагрузке 2 Н, представлена на рис. 2 (где  $x$  – расстояние от поверхности).

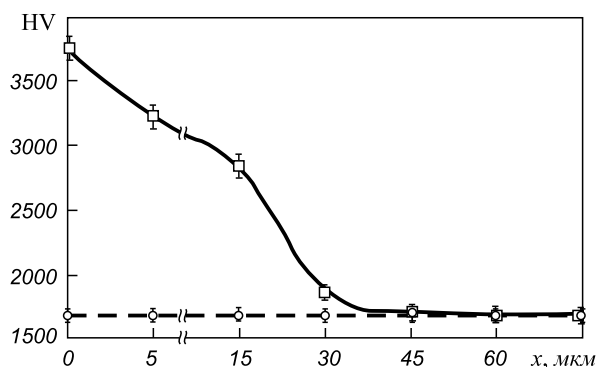


Рис. 2. Распределение микротвердости по сечению образцов сплава ВК8 в исходном состоянии (---) и после ХТО (—)

Fig. 2. Distribution of microhardness along the cross-section of VK8 alloy samples in an initial state (---) and after thermochemical treatment (—)

Т а б л и ц а 1

#### Распределение химических элементов по сечению покрытия образца сплава ВК8

Table 1. Distribution of chemical elements along the cross-section of the coating of VK8 alloy sample

Образец	Содержание, %, элемента															
	B	C	Co	Na	Al	Si	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Cu	W	I
1	59,29	29,05	6,68	0,06	0,04	0,10	0,03	0,07	0,03	0,11	0,28		0,83	0,08	3,28	0,07
2	46,51	10,07	3,09			0,06	0,44	0,24	0,28	0,58	8,76	0,66	13,46	0,84	14,08	0,93
3	14,35	14,02	10,49	0,08	0,03	0,11	0,04			0,03	11,21		0,47	0,02	48,92	0,23
4	17,30	13,14	9,72	0,23		0,05				0,12	1,19		1,67	0,17	56,41	
5	15,73	8,41	2,92	0,04	0,01	0,03	0,01	0,04			0,06		0,13	0,04	72,58	

В результате боротитанирования на поверхности вольфрам-кобальтового спеченного материала ВК8 образовался диффузионный слой с микротвердостью 3500 – 3700 НВ, что приблизительно в 1,9 раза превышает микротвердость неупрочненного твердого сплава. При этом толщина упрочненного слоя достигает 30 мкм.

Проведено упрочнение быстрорежущей стали Р6М5. Полученные структуры представлены на рис. 3. Распре-

деление химических элементов по сечению покрытия на быстрорежущей стали Р6М5 приведено в табл. 2.

Распределение микротвердости по сечению образцов стали Р6М5 представлено на рис. 4.

На поверхности быстрорежущей стали сформировался диффузионный слой толщиной 15 – 25 мкм. Строение данного слоя – классическое для боридных диффузионных покрытий – игольчатое, однако иглы сильно затупле-

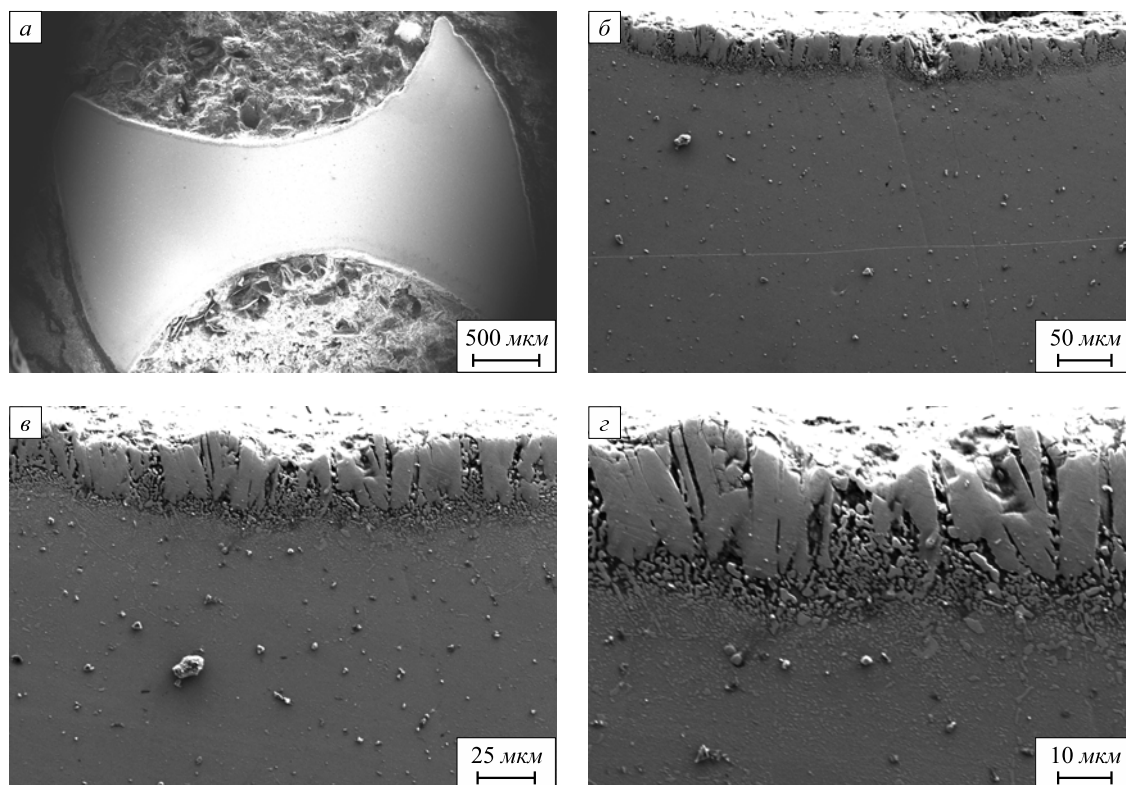


Рис. 3. Микроструктура борохромированного слоя стали Р6М5 при разных увеличениях

Fig. 3. Microstructure of boron-chromium-plated layer of R6M5 steel at different increases

Т а б л и ц а 2

**Распределение химических элементов по сечению покрытия образца стали Р6М5**

Table 2. Distribution of chemical elements along the cross-section of the coating of R6M5 steel sample

Образец	Содержание, %, элементов						
	B	C	W	Mo	Si	Cr	Fe
1	33,24	36,89	4,18	4,36	0,10	14,12	7,11
9	35,63	27,75	6,85	4,16	0,07	11,8	13,74
2	21,74	45,69	6,87	4,68	0,17	8,17	12,68
3	25,49	42,51	5,18	5,14	0,09	4,63	16,96
4	20,08	40,02	5,44	4,23	0,13	3,68	26,42
5	18,73	30,18	6,03	4,14	–	3,58	37,34
6	17,34	22,61	4,95	4,48	–	2,71	47,91
7	15,67	23,19	5,22	4,39	–	1,94	49,59
8	12,35	21,38	5,39	4,81	0,27	1,03	54,77



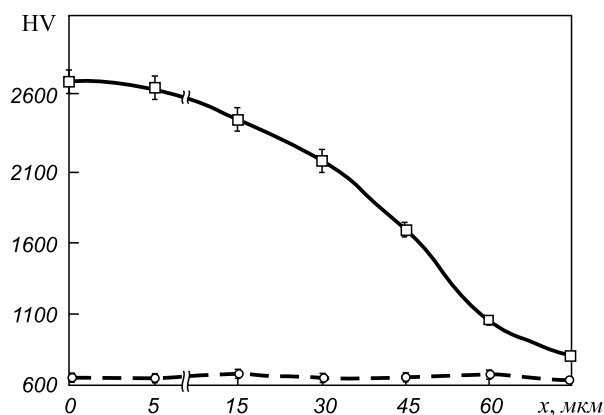


Рис. 4. Распределение микротвердости по сечению образцов стали Р6М5 в исходном состоянии (---) и после ХТО (—)

Fig. 4. Distribution of microhardness along the cross-section of R6M5 steel samples in an initial state (---) and after thermochemical treatment (—)

ны и формируют практически сплошной слой [9 – 14]. Это объясняется высоким содержанием легирующих элементов (углерода, вольфрама и молибдена), которые ограничивают диффузию бора вглубь [15 – 20].

**Выводы.** Показана возможность упрочнения материалов для режущего инструмента, в частности, вольфрам-кобальтовых спеченных материалов и быстрорежущих сталей методами комплексной химико-термической обработки бором и хромом. Исследован химический состав и микротвердость получаемого борохромированного покрытия. По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что химико-термическая обработка является перспективным способом повышения прочностных и эксплуатационных характеристик материалов этих классов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Физические основы химико-термоциклической обработки сталей / А.М. Гурьев, Б.Д. Лыгденов, Н.А. Попова, Э.В. Козлов. – Барнаул: изд. АлтГТУ, 2008. – 250 с.
2. Крукович М.Г., Прусаков Б.А., Сизов И.Г. Пластичность борированных слоев. – М.: Физматлит, 2010. – 384 с.
3. Гринберг Е.М. Металловедение борсодержащих конструкционных сталей. – М.: изд. МИСИС, 1997. – 198 с.

4. Гурьев А.М., Иванов С.Г., Гармаева И.А. Диффузионные покрытия сталей и сплавов. – Барнаул: изд. ООО «НИЦ "Системы управления"», 2013. – 221 с.
5. Лыгденов Б.Д. Фазовые превращения в сталях с градиентными структурами, полученными химико-термической и химико-термоциклической обработкой. Автореф. дис. канд. техн. наук. – Новокузнецк, 2004. – 33 с.
6. Ситкевич М.В., Бельский Е.И. Совмещенные процессы химико-термической обработки с использованием обмазок. – Минск: Высшая школа, 1987. – 156 с.
7. Борисенко С.Г., Васильев Л.А., Ворошнин Л.Г. и др. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник. – М.: Металлургия, 1984. – 424 с.
8. Гурьев М.А., Иванов С.Г., Кошелева Е.А. и др. // Ползуновский вестник. 2010. № 1. С. 114 – 121.
9. Бабкин Ф.В., Ярош Д.В., Лыгденов Б.Д. Комплексное диффузионное насыщение бором и титаном. – В кн.: сборник научных трудов X международной научно-практической конференции. – Барнаул, 2009. С. 248 – 250.
10. Лыгденов Б.Д. Интенсификация процессов формирования структуры диффузионного слоя при химико-термической обработке сталей. Автореф. дисс. докт. техн. наук. – Барнаул, 2009. – 32 с.
11. Мосоров В.И., Грешилов А.Д., Лыгденов Б.Д. // Ползуновский вестник. 2012. № 1-1. С. 206 – 208.
12. Лыгденов Б.Д., Грешилов А.Д., Мижитов А.Ц. // Современные наукоемкие технологии. 2006. № 5. С. 37, 38.
13. Бутуханов В.А., Цыреторов Б.Ш., Лыгденов Б.Д. Влияние металлотермических реакций на диффузионные процессы при химико-термической обработке. – В кн.: VI сессия Научного совета РАН по механике. АлтГТУ им. И.И. Ползунова / Научн. ред. Н.Ф. Морозов, М.Д. Старостенков. – Барнаул: изд. АлтГТУ, 2012. С. 51, 52.
14. Лыгденов Б.Д., Бутуханов В.А., Мэй Ш., Цыреторов Б.Ш. // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 4. С. 76 – 79.
15. Мосоров В.И., Лыгденов Б.Д., Грешилов А.Д., Долгоров А.А. // Ползуновский альманах. 2010. № 1. С. 30 – 32.
16. Федяшина О.М., Софрошенков А.Ф. Борирование быстрорежущей стали. – В кн.: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Под общ. ред. Л.П. Мышляева. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2008. С. 62 – 64.
17. Куркина Л.А., Хараев Ю.П. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2014. Т. 11. № 2. С. 201 – 205.
18. Ан Д., Ли Ц., Вэн Ж. и др. // Металловедение и термическая обработка металлов. 2011. № 12. С. 27 – 32.
19. Денисюк А.К., Загуляева С.В., Потуткина Е.Н. // Упрочняющие технологии и покрытия. 2012. № 2. С. 29 – 31.
20. Петрова Л.Г., Александров В.А., Брежнев А.А. // Упрочняющие технологии и покрытия. 2013. № 10 (106). С. 26 – 33.

Поступила 25 февраля 2015 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2015. Vol. 58. No. 8, pp. 578–582.

#### THERMOCHEMICAL TREATMENT OF THE MATERIALS FOR CUTTING TOOLS

**Gur'ev A.M.**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Chair "Descriptive Geometry and Engineering Graphics", Director of Grand Altai Development Institute (gurievam@mail.ru)

**Ivanov S.G.**, Cand. Sci. (Eng.), of the Chair of Physics

**Gur'ev M.A.**, Cand. Sci. (Eng.), Doctoral Cand. of the Chair of Physics

**Chernykh E.V.**, Cand. Sci. (Phys.-math.), Assist. Professor of the Chair of Physics, Doctoral Cand. of the Chair "Descriptive Geometry and Engineering Graphics"

**Ivanova T.G.**, Postgraduate of the Chair "Descriptive Geometry and Engineering Graphics"

Altai State Technical University named after I.I. Polzunov (46, Lenina ave., Barnaul, 656038, Russia)

**Abstract.** The paper presents the researches devoted to the possibility to increase wear resistance of solid alloys, high-speed steel, high-carbon steel, which are used to create cutting tools. The hardening has been carried out by the methods of thermochemical treatment by means of complex diffusion saturation with boron and chromium – boron-chromium coating for tungsten-cobalt BK8 (VK8) sintered material, as well as boron and titanium – boron-titanizing for high-speed P6M5 (R6M5) steel. The choice of tungsten-cobalt VK8 sintered material and high-speed R6M5 steel as an object of studying has been specified by a wider spectrum of using high-strength low-wear materials in national economy. The chemical composition and micro-hardness have been studied, as well as microhardness of the received diffusion coatings on the hardened materials has been measured. According to the results of the carried out researches the following conclusion can be done: the thermochemical treatment is a perspective way to increase strength and operational characteristics of the materials of the studied classes.

**Keywords:** high-speed steel, high-carbon steel, boron, chromium, thermochemical treatment, diffusion saturation, solid alloy, hardness, wear resistance, cutting tool.

**DOI:** 10.17073/0368-0797-2015-8-578-582

## REFERENCES

- Gur'ev A.M., Lygdenov B.D., Popova N.A., Kozlov E.V. *Fizicheskie osnovy khimiko-termotsiklicheskoj obrabotki staley* [Physical basis of thermochemical treatment of steel]. Barnaul: izd. AltGTU, 2008. 250 p. (In Russ.).
- Krukovich M.G., Prusakov B.A., Sizov I.G. *Plastichnost' borirovannykh sloev* [Plasticity of borated layers]. Moscow: Fizmatlit, 2010. 384 p. (In Russ.).
- Grinberg E.M. *Metallovedenie borsoderzhashchikh konstruktivnykh staley* [Physical metallurgy of boron-containing constructional steels]. Moscow: izd. MISIS, 1997. 198 p. (In Russ.).
- Gur'ev A.M., Ivanov S.G., Garmaeva I.A. *Diffuzionnye pokrytiya staley i splavov* [Diffusion coatings of steels and alloys]. Barnaul: izd. LLC "NITs "Sistemy upravleniya", 2013. 221 p. (In Russ.).
- Lygdenov B.D. *Fazovye prevrashcheniya v stalyakh s gradientnymi strukturami, poluchennymi khimiko-termicheskoi i khimiko-termotsiklicheskoj obrabotkoi. Dis...cand. tekhn. nauk* [Phase transformations in steels with gradient structures, obtained with thermochemical and thermochemical-cycle treatments. Cand. Tech. Sci. Diss.]. Novokuznetsk, 2004. 226 p. (In Russ.).
- Sitkevich M.V., Bel'skii E.I. *Sovmeshchennye protsessy khimiko-termicheskoi obrabotki s ispol'zovaniem obmazok* [Combined processes of thermochemical treatment using coatings]. Minsk: Vysshaya shkola, 1987. 156 p. (In Russ.).
- Borisenok G.V., Vasil'ev L.A., Voroshnin L.G. etc. *Khimiko-termicheskaya obrabotka metallov i splavov. Spravochnik* [Thermochemical treatment of metals and alloys. Reference-book]. Moscow: Metallurgiya, 1984. 424 p. (In Russ.).
- Gur'ev M.A., Ivanov S.G., Kosheleva E.A., Ivanov A.G., Greshilov A.D., Gur'ev A.M., Lygdenov B.D., Okolovich G.A. Complex diffusion hardening of high-pressure machine and instrument components. *Polzunovskii vestnik*. 2010, no. 1, pp. 114–121. (In Russ.).
- Babkin F.V., Yarosh D.V., Lygdenov B.D. *Kompleksnoe diffuzionnoe насыщение бором и титаном* [Complex diffusion saturation with boron and titanium]. In: *Problemy i perspektivy razvitiya litseynogo, svarochnogo i kuznechno-shtampovogo proizvodstva: Sbornik nauchnykh trudov X mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Problems and prospects of development of foundry, welding, forging and stamping production. Proceedings of the X International Scientific-Practical Conference. Barnaul, November 19–20, 2009], Issue 5, pp. 248–250. (In Russ.).
- Lygdenov B.D. *Intensifikatsiya protsessov formirovaniya struktury diffuzionnogo sloya pri khimiko-termicheskoi obrabotke staley. Dis...d-ra. tekhn. nauk* [Intensification of formation processes of diffusion layer structure at thermochemical treatment of steels. Dr. Tech. Sci. Diss.]. Barnaul, 2009. 355 p. (In Russ.).
- Mosorov V.I., Greshilov A.D., Lygdenov B.D. Research of phase composition and dislocation structure of borated 55L steel. *Polzunovskii vestnik*. 2012, no. 1–1, pp. 206–208. (In Russ.).
- Lygdenov B.D., Greshilov A.D., Mizhitov A.Ts. Phase composition of 08kp steel after borating. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2006, no. 5, pp. 37–38. (In Russ.).
- Butukhanov V.A., Tsyretorov B.Sh., Lygdenov B.D. *Vliyanie metallotermicheskikh reaktiv na diffuzionnye protsessy pri khimiko-termicheskoi obrabotke* [Influence of metal-thermal reactions on diffusion processes at thermochemical treatment]. In: *VI sessiya Nauchnogo soveta RAN po mekhanike. AltGTU im. I.I. Polzunova* [VI session of the Scientific Council of RAS on mechanics. I.I. Polzunov Altai State Technical University]. Morozov N.F., Starostenkov M.D. eds. Barnaul: izd. AltGTU, 2012, pp. 51–52. (In Russ.).
- Lygdenov B.D., Butukhanov V.A., Mei Sh., Tsyretorov B.Sh. Surface hardening of die tooling from hypoeutectic steels. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2014, no. 4, pp. 76–79. (In Russ.).
- Mosorov V.I., Lygdenov B.D., Greshilov A.D., Dolgorov A.A. Growth kinetics of diffusion layers at borating of cast steels. *Polzunovskii al'manakh*. 2010, no. 1, pp. 30–32. (In Russ.).
- Fedyashina O.M., Sofroshenkov A.F. *Borirovanie bystrorezhushchei stali*. [Borating of high-speed steel]. In: *Nauka i molodezh': problemy, poiski, resheniya Trudy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchennykh* [Science and youth: problems, searches, solutions. Proceedings of All-Russian Scientific Conference for students, post-graduates and young scientists]. Myshlyayev L.P. ed. Novokuznetsk: izd. SibGIU, 2008, pp. 62–64. (In Russ.).
- Kurkina L.A., Kharaev Yu.P. Influence of diffusion saturation temperature on the change of sample sizes made from 45 steel at borating. *Fundamental'nye problemy sovremennogo materialovedeniya*. 2014, Vol. 11, no. 2, pp. 201–205. (In Russ.).
- An J., Li C., Ven Z., Yang Y.L., Sun S.J. A study of boronizing of steel AISI 8620 for sucker rods. *Metal Science and Heat Treatment*. 2011, vol. 53, no. 11–12, pp. 598–602.
- Denisyuk A.K., Zagulyaeva S.V., Potutkina E.N. Influence of borating conditions on the structure and hardness of the borated layer. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya*. 2012, no. 2, pp. 29–31. (In Russ.).
- Petrova L.G., Aleksandrov V.A., Brezhnev A.A. New possibilities of borating to obtain modified layers on steel details, working in the conditions of wear and corrosion. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya*. 2013, no. 10 (106), pp. 26–33. (In Russ.).

**Acknowledgements.** The work was performed with the support of the task of the Ministry of Education and Science on priority tendencies of science and technique development – topic no. 885 and grant of the President of RF MK-656.2014.8.

Received February 25, 2015