УДК 669.017

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА НАСЫЩАЮЩИХ СРЕД ДЛЯ ОДНОВРЕМЕННОГО НАСЫЩЕНИЯ БОРОМ, ХРОМОМ И ТИТАНОМ

М. А. Гурьев [1], Т. Г. Иванова [2], Е. А. Кошелева [2]
[1] ООО «Технологии упрочнения», г. Барнаул, Россия
[2] Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул, Россия

В работе исследовано влияние химического состава исходных компонентов и технологических параметров приготовления насыщающих сред для одновременного насыщения бором, хромом и титаном. Показано, что химический состав исходных компонентов оказывает определяющее влияние на гранулометрический состав конечного продукта.

Ключевые слова: борирование, химико-термическая обработка, упрочнение, сталь

RESEARCH OF DISTRIBUTION OF SIZES OF THE SATING ENVIRONMENTS FOR SIMULTANEOUS SATURATION BY BORON, CHROME AND TITANIUM

M. A. Guriev [1], T. G. Ivanova [2], E. A. Kosheleva [2]
[1] LLC «Technologies of hardening», Barnaul, Russia
[2] Altai State Technical University, Barnaul, Russia

The influence of the chemical composition of the initial components and technological parameters of the preparation of saturating media for simultaneous saturation with boron, chromium and titanium is investigated. It is shown that the chemical composition of the initial components has a determining effect on the granulometric composition of the final product.

Ключевые слова: borating, chemical-thermal treatment, hardening, steel

Наряду с химическим составом насыщающих сред для диффузионного поверхностного насыщения, определяющее влияние на кинетику процесса насыщения, фазовый состав диффузионных покрытий, технологичность процесса и эксплуатационные свойства получаемых покрытий оказывает важное влияние также фракционный состав диффузионно-активных сред [1 – 8]. В более ранних работах [9 – 15] проводились исследования по оптимизации параметров процесса приготовления насыщающих сред и их химического состава с целью повышения насыщающей способности. Однако, в связи с развитием понимания протекающих при диффузионном насыщении процессов как в насыщающей среде, так и на поверхности насыщаемой детали, внедряются все более эффективные насыщающие среды, предполагающие одновременное насыщение несколькими элементами. Сам процесс насыщения при этом в силу особенностей химического и гранулометрического состава насыщающей среды должен протекать таким образом, чтобы формируемое покрытие имело максимально возможный комплекс эксплуатационных свойств, что должно обеспечиваться активацией «полезных» реакций и подавлением «ненужных» и, кроме того, обеспечением необходимой активности определенных насыщающих элементов в течение процесса насыщения. Как показывают проведенные ранее исследования [11 – 30], необходимое направление течения процесса одновременного насыщения различными элементами обеспечивается не только химическим соста-

вом насыщающей среды, но и ее фракционным составом.

В работе методами оптической микроскопии исследовано влияние химического состава исходных компонентов для приготовления диффузионно-активных сред для одновременного диффузионного насыщения сталей бором, хромом и титаном. Основными критериями, определяющими диффузионную активность насыщающих сред, на наш взгляд являются размер частиц диффузионно-активной среды и расстояние между частицами в насыпном состоянии. Выбор данных критериев косвенно подтверждается также и литературными данными других авторов [31 – 34], хотя прямо данные критерии не называются. При проведении исследований по измерению диффузионной активности насыщающих сред и из литературных источников сформированы следующие предположения, касающиеся данного исследования:

1. Размер частиц насыщающей среды определяет площадь активной поверхности, характеризующей в свою очередь, химическую активность компонентов насыщающей среды, что в свою очередь лимитирует количество генерируемых диффузионно-активных атомов.

2. Расстояние между частицами характеризует газопроницаемость насыщающей среды, так как известно, что при насыщении из порошковых сред и насыщающих обмазок, процесс в определяющем случае идет через газовую фазу.

Таким образом, такие параметры, как размер частиц насыщающей среды и расстояние между ними будут определять активность насыщающей среды, и регулируя эти параметры можно в значительной степени регулировать кинетику процесса насыщения, элементный и фазовый состав получаемых диффузионных покрытий.

В качестве исходных компонентов насыщающих сред использовали карбид бора, диборид хрома, диборид титана, феррохром ФХ-850, ферротитан ФТи-35, графит марки М-1, тетраборат натрия (буру), борид железа FeB. В качестве активаторов использовали хлориды, а также фториды натрия и аммония, тетрафторборат калия. Исходная фракция всех компонентов составляла 160 – 180 мкм. Приготовление насыщающих сред вели в планетарной мельнице МП-4-1,0 согласно [5]. Исследование фракционного состава полученных сред проводили на микроскопе Carl Zeiss Axio Observer Z1m с применением программного комплекса «Thixomet Pro». Полученные результаты представлены на рисунках 1 – 3. В качестве объектов исследования были выбраны насыщающие среды, представленные в таблице 1.

Перед исследованием все смеси насыпались в кювету и уплотнялись прессованием с усилием 5 кг, что соответствует промышленно применяемому способу использования данных смесей.

Таблица 1 – Химический состав насыщающих сред [6 – 11]

№№	Химический состав
1	$B_4C+TiB_2+CrB_2+FeB+C+NaF+NaCl+NH_4F$
2	$B_4C+TiB_2+CrB_2+FeB+C+NaF+ NH_4Cl+NH_4F+Na_2B_4O_7$
3	B_4C+ФТи35+ФХр850+C+NaF+ NH_4Cl+NaCl +$NH_4F+Na_2B_4O_7$

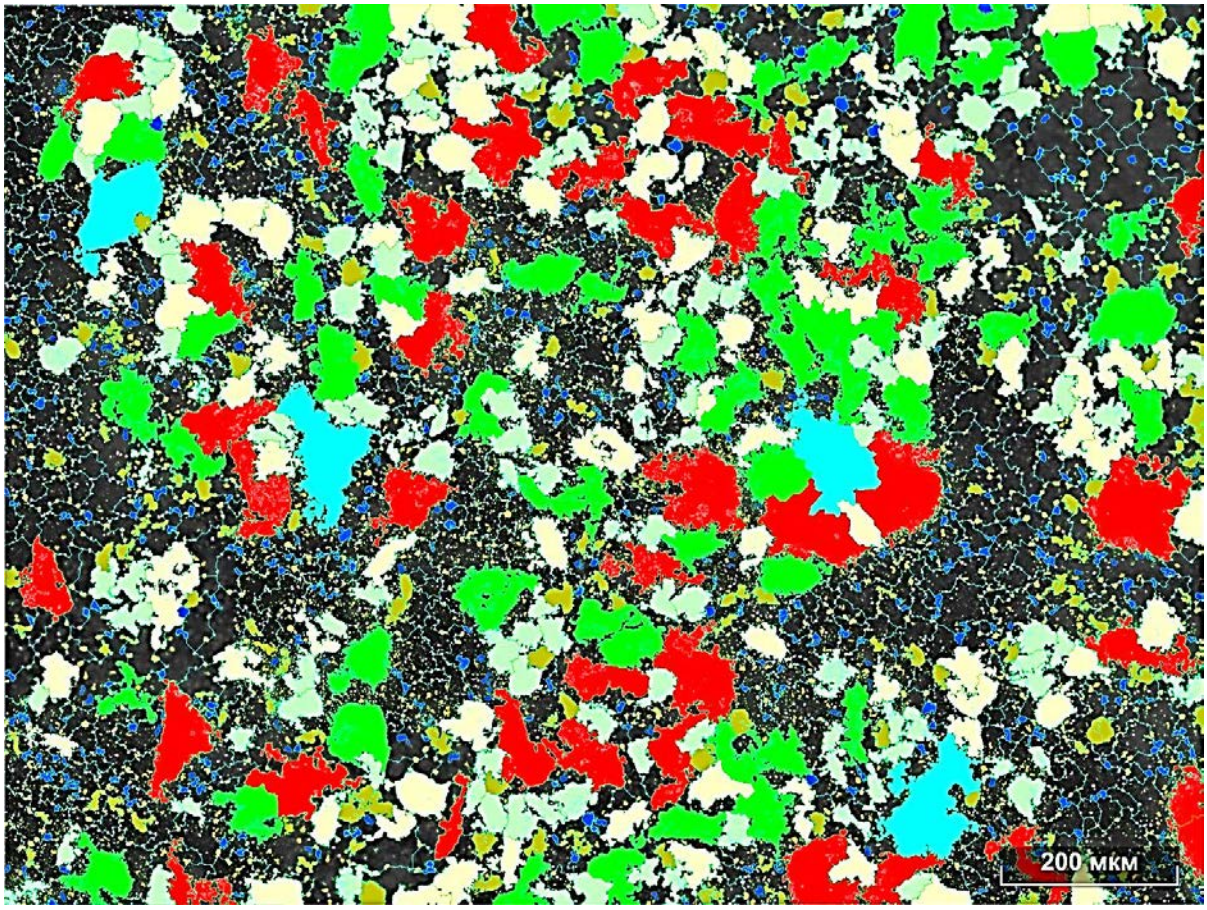
Выводы:

1. Химический состав исходных компонентов оказывает определяющее влияние на фракционный состав насыщающих сред.

2. Добавка буры позволяет получать более однородную по фракционному составу и более дисперсную смесь.

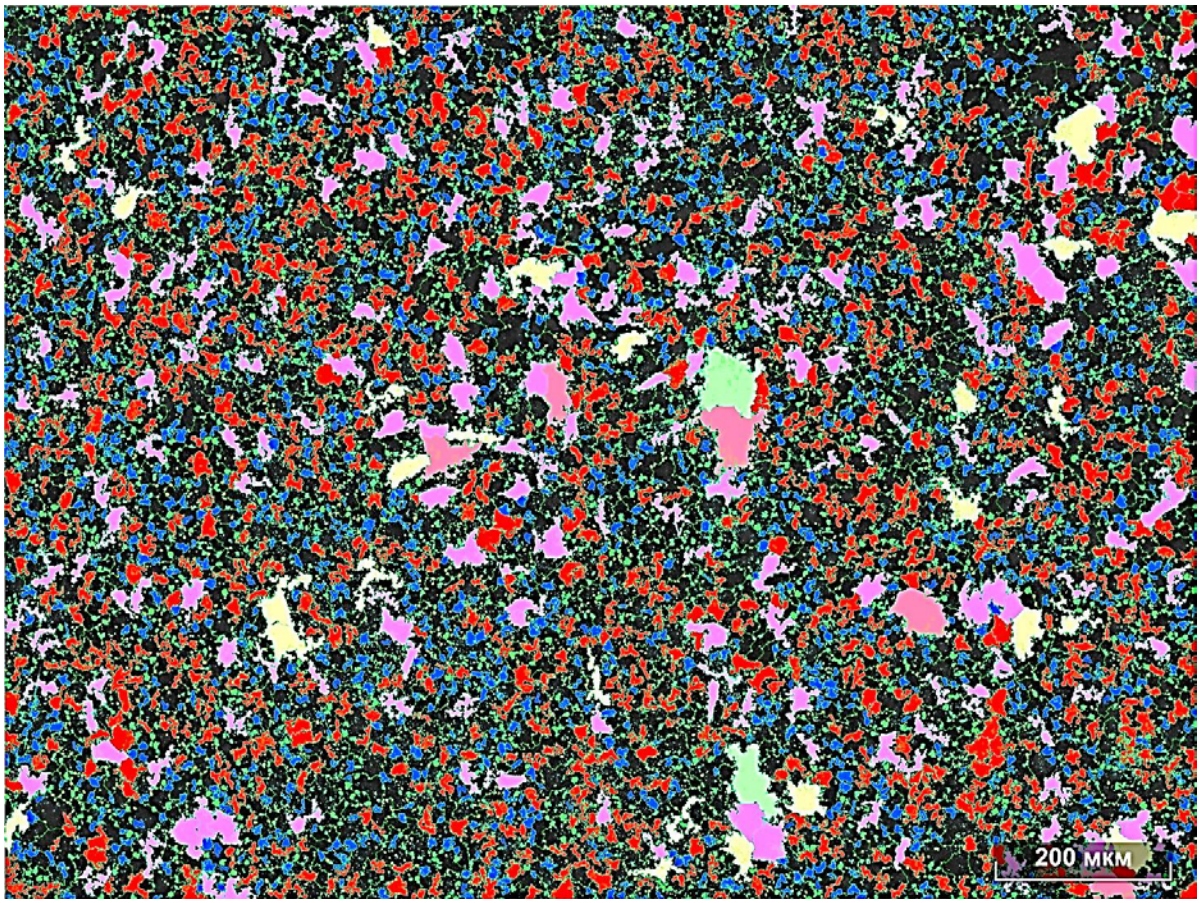
3. Наибольшее измельчение наблюдается при замене высокотвердых и достаточно пластичных диборидов хрома и титана на ферросплавы.

4. При измельчении смеси в 2,5 и 9,6 раза соответственно для смеси № 2 и № 3 относительно смеси № 1, среднее расстояние между отдельными частицами уменьшилось соответственно на 10 % и 20 %, оставаясь достаточным для хорошей газопроницаемости.



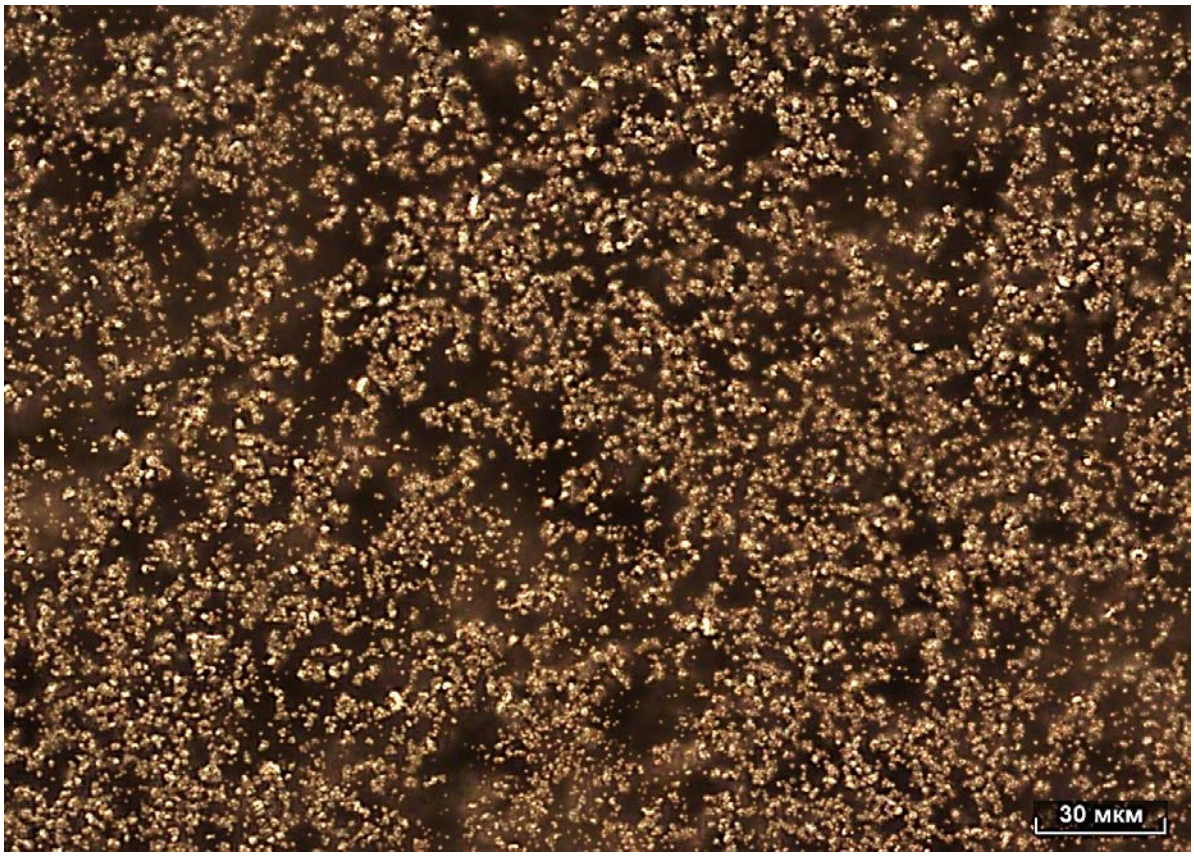
№	Цвет	от	до	Объем, %
1		0	2	1.57
2		2	5	2.74
3		5	10	3.57
4		10	20	3.76
5		20	40	6.08
6		40	60	15.9
7		60	80	19.4
8		80	100	20.2
9		100	150	22.5
10		150	250	4.33
Среднее				77.3
Плотность, шт./мм^2				69608
Среднее расстояние, мкм				3.79

Рисунок 1 – Фракционный состав среды № 1 (таблица 1) для одновременного насыщения бором хромом и титаном



№	Цвет	от	до	Объем, %
1		0	2	3.27
2		2	5	5.18
3		5	10	7.76
4		10	20	16.6
5		20	40	37.3
6		40	60	20.9
7		60	80	5.56
8		80	100	2.06
9		100	150	1.28
Среднее				31.3
Плотность, шт./мм^2				81872
Среднее расстояние, мкм				3.49

Рисунок 2 – Фракционный состав среды № 2 (таблица 1) для одновременного насыщения бором хромом и титаном



№	Цвет	от	до	Объем, %
1		0	2	3.1
2		2	5	16.5
3		5	10	54.1
4		10	20	26.3
Среднее				8.04
Плотность, шт./мм^2				98996
Среднее расстояние, мкм				3.18

Рисунок 3 – Фракционный состав среды № 3 (таблица 1) для одновременного насыщения бором хромом и титаном

Список литературы

1. Лыгденов, Б.Д. Влияние состава насыщающей среды на структуру и свойства диффузионного слоя при титанировании сталей / Лыгденов Б.Д., Гурьев А.М.// Известия высших учебных заведений. - Физика. - 2000. - Т. 43. - № 11. - С. 269.

2. Гурьев, А.М. Интенсификация процессов химико-термической обработки металлов и сплавов / Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Власова О.А. // Фундаментальные исследования. - 2008. - № 8. - С. 10.

3. Исследование влияния различных факторов при борировании на механические свойства стали с применением математической модели Гармаева И.А., Лыгденов Б.Д., Гурьев А.М., Власова О.А. Упрочняющие технологии и покрытия. 2008. № 10. С. 30-32.

4. Гурьев, А.М. Новые методы диффузионного термоциклического упрочнения поверхности стальных изделий бором совместно с титаном и хромом / Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Иванов С.Г., Власова О.А., Гармаева И.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А. // Успехи современного естествознания. - 2007. - № 10. - С. 84-85.

5. Иванов, С.Г. Особенности приготовления насыщающих смесей для диффузионного боро-

хромирования / Иванов С.Г., Гурьев А.М., Старостенков М.Д., Иванова Т.Г., Левченко А.А. // Известия высших учебных заведений. - Физика. - 2014. - Т. 57. - № 2. - С. 116-118.

6. Иванов, С.Г. Исследование процессов диффузионного насыщения сталей из смесей на основе карбида бора / Иванов С.Г., Гурьев А.М., Кошелева Е.А., Власова О.А., Гурьев М.А. // Современные наукоемкие технологии. - 2008. - № 3. - С. 33.

7. Власова, О.А. Повышение прочности диффузионных карбоборидных покрытий термоциклированием в процессе их получения / Власова О.А., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Кошелева Е.А., Гурьев А.М. // В сб.: наука и молодежь - 2007 (ним - 2007) Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Наука и молодежь - 2007" (НиМ-2007). - 2007. - С. 110-112.

8. Бутуханов, В.А. Исследование процесса диффузионного насыщения в смеси, содержащей оксид ванадия и алюминий / Бутуханов В.А., Грешилов А.Д., Лыгденов Б.Д., Отхонсо Г. // Ползуновский вестник. - 2012. - № 1-1. - С. 51-55.

9. Власова О.А. Оптимизация многокомпонентной химико-термической обработки стали 30Х / Власова О.А., Иванов С.Г., Гурьев А.М., Кошелева Е.А., Чех С.А. // Современные наукоемкие технологии. - 2008. - № 3. - С. 32.

10.Лыгденов, Б.Д. Исследование фазового состава и дефектного состояния градиентных структур борированных сталей 20Л, 45, 55 и 5ХНВ / Лыгденов Б.Д., Гармаева И.А., Попова Н.А., Козлов Э.В., Гурьев А.М., Иванов С.Г. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2012. - Т. 9. - № 4-2. - С. 681-689.

11.Иванов С.Г. Исследование зависимости морфологии диффузионных боридных покрытий на углеродистых сталях от состава и фракции насыщающей смеси / Иванов С.Г., Куркина Л.А., Грешилов А.Д., Гурьев А.М. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2012. - Т. 9. - № 4. - С. 556-559.

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

13.Структурно-фазовые состояния перспективных металлических материалов Багмутов В.П., Белов Е.Г., Божко И.А., Будовских Е.А., Ващук Е.С., Власова О.А., Викарчук А.А., Вострецова А.В., Громов В.Е., Громова А.В., Гун Г.С., Гурьев А.М., Данилов В.И., Дмитриев С.В., Ефимов О.Ю., Ерошенко А.Ю., Зуев Л.Б., Иванов Ю.Ф., Иванов С.Г., Иванова О.В. и др. Ответственный редактор Громов В.Е. - Новокузнецк, 2009.

14.Бутуханов В.А. Диффузионное упрочнение сталей в насыщающей среде $V+Al+B_4C$ / Бутуханов В.А., Суханов Н.Г., Лыгденов Б.Д., Галаа О. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2013. - Т. 10. - № 1. - С. 146-148.

15.Бутуханов В.А. Влияние металлотермических реакций на диффузионные процессы при химико-термической обработке / Бутуханов В.А., Цыреторов Б.Ш., Лыгденов Б.Д. // В сб.: VI сессия Научного совета РАН по механике Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова; Научные редакторы: Морозов Н.Ф., Старостенков М.Д. - 2012. - С. 51-52.

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

17.Гурьев, М.А. Оптимизация состава многокомпонентной насыщающей смеси на основе бора и хрома для поверхностного легирования сталей / Гурьев М.А., Кошелева Е.А., Иванов С.Г. // Ползуновский альманах. - 2010. - № 1. - С. 131-135.

18.Влияние фракционного состава насыщающей смеси на изменение размеров образцов при борировании Куркина Л.А., Иванов С.Г., Гурьев А.М., Земляков С.А., Грешилов А.Д., Хараев Ю.П. Ползуновский альманах. 2012. № 1. С. 268-270.

19.Гурьев, А.М. Способ упрочнения стальных деталей / Гурьев А.М., Иванов С.Г., Власова О.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А., Лыгденов Б.Д. // патент на изобретение RUS 2381299 12.05.2008

20.Гурьев, А.М. Способ упрочнения деталей из штамповых сталей / Гурьев А.М., Иванов С.Г., Земляков С.А., Власова О.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А. // патент на изобретение RUS 2360031 18.07.2007

21.Кошелева, Е.А. Технология многокомпонентного диффузионного упрочнения поверхности деталей машин и инструмента для энергетического машиностроения / Кошелева Е.А., Иванов С.Г., Нестеренко Е.А., Гурьев М.А., Земляков С.А., Власова О.А., Иванов А.Г. // Ползуновский вестник. - 2010. - № 1. - С. 106-113.

22.Бутуханов В.А. Влияние состава насыщающих порошковых сред на структуру и свойства диффузионных карбидных слоев / Бутуханов В.А., Лыгденов Б.Д. // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). - 2016. - № 2 (71). - С. 80-86.

23.Лыгденов Б.Д. Влияние специальных добавок на интенсификацию диффузионного титанирования / Лыгденов Б.Д., Грешилов А.Д., Гурьев А.М. // Ползуновский альманах. - 2006. - № 3. - С. 94.

24.Бутуханов В.А. Исследование процесса диффузионного насыщения в смеси, содержащей оксид ванадия и алюминий / Бутуханов В.А., Грешилов А.Д., Лыгденов Б.Д., Отхонсо Г. // Ползуновский вестник. 2012. № 1-1. С. 51-55.

25.Гурьев, А.М. Термоциклическое борирование как метод повышения прочности инструментальных сталей / Гурьев А.М., Власова О.А., Лыгденов Б.Д., Гармаева И.А., Кириенко А.М., Иванов С.Г., Кошелева Е.А. // Ползуновский альманах. - 2007. - № 1-2. - С. 85-88.

26.Гурьев М.А. Упрочнение литых деталей поверхностным легированием / Гурьев М.А., Иванов С.Г., Гурьев А.М. // В сб.: Проблемы и перспек-

тивы развития литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производств. - Сборник научных трудов X международной научно-практической конференции. - Барнаул, 2009. - С. 40-46.

27.Гурьев А.М. Распределение атомов бора и углерода в диффузионном слое после борирования стали 08кп / Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Мосоров В.И., Инхеев Б.С. // Современные наукоемкие технологии. - 2006. - № 5. - С. 35-36

28.Лыгденов Б.Д. Особенности формирования структуры диффузионного слоя и разработка технологии упрочнения литых инструментальных сталей с учетом дендритной ликвации / Лыгденов Б.Д., Гурьев А.М., Гармаева И.А., Мижитов А.Ц., Мосоров В.И. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2006. - Т. 3. - № 3. - С. 84-86.

29.Гурьев М.А. Технология упрочнения стальных изделий в процессе литья / Гурьев М.А., Фильчаков Д.С., Иванов С.Г., Гурьев А.М., Деев В.Б. // Литейщик России. - 2013. - № 6. - С. 36-38.

30.Гурьев, А.М. Новые методы диффузионного термоциклического упрочнения поверхности стальных изделий бором совместно с титаном и хромом / Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Иванов С.Г., Власова О.А., Гармаева И.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А. // Успехи современного естествознания. - 2007. - № 10. - С. 84-85.

31.Теория и практика получения литого инструмента / Гурьев А.М., Хараев Ю.П. // Барнаул, 2005. – 158 с.

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

33.Кошелева, Е. А. Борохромирование – перспективный метод упрочнения деталей машин и инструмента / Е. А. Кошелева, М. А. Гурьев, О. А. Власова, С. Г. Иванов, А. М. Гурьев // В сб.: Проблемы и перспективы развития литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производств. – Сб. научных трудов X международной научно-практической конференции. – Барнаул, 2009. – С. 69–70.

34.Гурьев, М.А. Перспективные методы получения упрочняющих покрытий / Гурьев М.А., Кошелева Е.А., Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Галаа О. - Барнаул, 2016. - 182 с.: ил.

35.Кошелева, Е. А. Повышение прочности инструментальных сталей / Е. А. Кошелева // Ползуновский альманах. – 2015. – № 2. – С. 133–134.

36.Кошелева, Е.А. Разработка технологии диффузионного упрочнения поверхности стальных деталей и инструмента / Кошелева Е.А. // Ползуновский альманах. - 2010. - № 1. - С. 95-101.

37.Гурьев, А.М. Исследование фракционного состава насыщающих смесей для химико-термической обработки сталей / Гурьев А.М., Иванова С.А., Кошелева Е.А., Мэй Ш. // Ползуновский альманах. - 2016. - № 4. - С. 63-66.

38.Кошелева, Е.А. Перспективные методы получения упрочняющих покрытий / Кошелева Е.А. // Ползуновский альманах. - 2016. - № 4. - С. 195-197.

39.Гармаева, И.А. Микротвердость покрытий на стали 45, полученных борированием и одновременным насыщением бором, хромом и титаном / Гармаева И.А., Иванова Т.Г., Кошелева Е.А., Гурьев А.М. // Ползуновский альманах. - 2016. - № 4. - С. 165-168.

40.Гурьев, А.М. Диффузионное упрочнение поверхности сталей бором совместно с хромом, вольфрамом и титаном / Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Гурьев М.А., Гармаева И.А., Мэй Ш., Кошелева Е.А. // Ползуновский альманах. - 2016. - № 4. - С. 23-28.

41.Кошелева, Е.А. Исследование поверхности стали при комплексном диффузионном упрочнении / Кошелева Е.А. // Ползуновский альманах. - 2014. - № 2. - С. 158-161.

42.Гурьев М.А. Взаимосвязь химического состава насыщающей среды и диффузионного покрытия на сталях 45 и 45Л / Гурьев М.А., Иванов С.Г., Алонцева Д.Л., Иванова Т.Г., Гурьев А.М. // Письма о материалах. - 2014. - Т. 4. - № 3 (15). - С. 179-181.

43.Иванов С.Г. Формирование поверхности при диффузионном боротитанировании сталей / Иванов С.Г., Гармаева И.А., Гурьев А.М. // Международный журнал экспериментального образования. - 2012. - № 5. - С. 42.

Гурьев Михаил Алексеевич [1] *– к. т. н.*
Иванова Татьяна Геннадьевна [2]
Кошелева Елена Алексеевна [2] *– к. т. н., доцент*

[1] *ООО «Технологии упрочнения», г. Барнаул, Россия*
[2] *ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова» (АлтГТУ), г. Барнаул, Россия*