

ЗАВИСИМОСТЬ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТАЛЕЙ 45 И X12M ОТ МОРФОЛОГИИ ДИФфуЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

**С. Г. Иванов¹, М. А. Гурьев¹, И. А. Гармаева^{1, 2}, О. А. Власова¹,
Т. Г. Иванова¹, Н. Г. Бильтриков^{1, 2}, Е. А. Кошелева¹, А. М. Гурьев^{1, 3}**

¹ Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

² Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
г. Улан-Удэ, Россия

³ Уханьский текстильный университет, Ухань, Китай

Исследована влияние микроструктуры многокомпонентных диффузионных покрытий на основе бора на ресурс работы накатных роликов, изготовленных из конструкционной (Сталь 45) и инструментальной (X12M) сталей.

Ключевые слова: упрочнение поверхности, диффузия, сталь, борирование, повышение ресурса

DEPENDENCE OF DURABILITY MORPHOLOGY MULTICOMPONENT DIFFUSION COATINGS ON STEEL

**S. G. Ivanov¹, M. A. Guriev¹, I. A. Garmayeva^{1, 2}, O. A. Vlasova¹,
T. G. Ivanova¹, N. G. Biltrikov^{1, 2}, E. A. Kosheleva¹, A. M. Guriev^{1, 3}**

¹ Altai state technical university, Barnaul, Russia

² East Siberia state university of technology and management, Ulan-Ude, Russia

³ Wuhan Textile University, Wuhan, China

Investigated the influence of the microstructure of multicomponent diffusion coatings on the basis of boron on life of the rolling rollers made of constructional (Steel 45) and instrumental (X12M) steels.

Keywords: surface hardening, diffusion, steel, boriding, increasing resource

Борирование является одним из высокоэффективных способов упрочнения сталей, однако в силу недостаточной изученности, в производственных условиях применение этого метода химико-термической обработки весьма ограничено. Известно, что боридные слои, полученные диффузионным борированием на стальных деталях значительно (в 5–30 раз) повышают их износостойкость, теплоустойчивость (в 1,5–2 раза) и коррозионную стойкость, что позволяет кратно повысить ресурс упрочненного изделия.

В настоящей работе в качестве объекта исследования были выбраны две стали: сталь 45 – как представитель углеродистых конструкционных сталей и штамповая сталь X12M – в качестве инструментальной стали. Из этих марок сталей были изготовлены

накатные ролики для накатывания ребристой неровности на поверхностях деталей из стали Ст3 [1–3].

После изготовления (механическая обработка), накатные ролики были упрочнены в соответствии с рекомендациями [4–7] методом одновременного комплексного борохромирования, либо боротитанирования в изотермическом режиме при температуре 950 °С с выдержкой при температуре насыщения в течение 2,5 ч в камерной печи СНОЛ 360/12,5-И2. Затем ролики подвергли закалке непосредственно с температуры насыщения с последующим низким отпуском при температуре 200 °С в течение 2 часов для снятия напряжений в соответствии с рекомендациями [6]. В качестве борохромирующей обмазки использовали среду, содержащую в

своем составе: бор, железо, кислород, хром, натрий, фтор, хлор, азот. Для процесса боротитанирования применяли смесь, дополнительно содержащую вместо хрома титан.

Микроструктура получившихся диффузионных покрытий представлена на рисунке 1.

Как видно из рисунка, на углеродистой стали микроструктура борохромированного слоя имеет классический игольчатый вид, присущий боридным покрытиям, в то время как микроструктура борохромированного покрытия на стали Х12М существенно отличается по строению от боридных покрытий на высоколегированных хромистых сталях типа Х12. Боридный слой на этих сталях имеет достаточно гладкую границу, но все-таки сохраняет видимость игольчатого. В то время как борохромированный слой на стали Х12М имеет вид, представленный на рисунке 1б – слой представляет собой разрозненные скопления глобулярных частиц, относительно равномерно распределенных в железной матрице, но при этом практически не контактирующих между собой. Верхняя, белая часть слоя представляет собой смесь карбидов, боридов и карбоборидов хрома и железа, причем относительная доля соединений железа в этой части диффузионного слоя невелика (не превышает 37–40 %), в то время как нижняя часть слоя представляет собой преимущественно смесь карбидов, карбоборидов и боридов железа, легированных хромом.

В процессе одновременного боротитанирования получают слои сложной морфологии, представленные на рисунке 1в. Условно боротитанированный слой можно разделить на 5 частей. Верхняя, нетравящаяся часть диффузионного слоя по всей вероятности представляет собой смесь боридов титана и чистого титана. Следующий (темный) подслой представляет собой преимущественно смесь диборида и карбоборидов титана – в пользу данного предположения говорит тот факт, что данный подслой является таким чрезвычайно хрупким, что выкрашивается в процессе приготовления шлифа. Третий по счету подслой, расположенный под темной прослойкой является переходным и состоит из титана и боридов титана, которые находятся в порах титанированного слоя. Предпоследний подслой представляет собой столбчатые кристаллы титана, легированные бором и углеродом. И непосредственно к основному материалу прилегает карбидный слой, состоящий из карбидов титана. Межфазные границы, разделяющие фазы между собой являются гладкими, что в комбинации

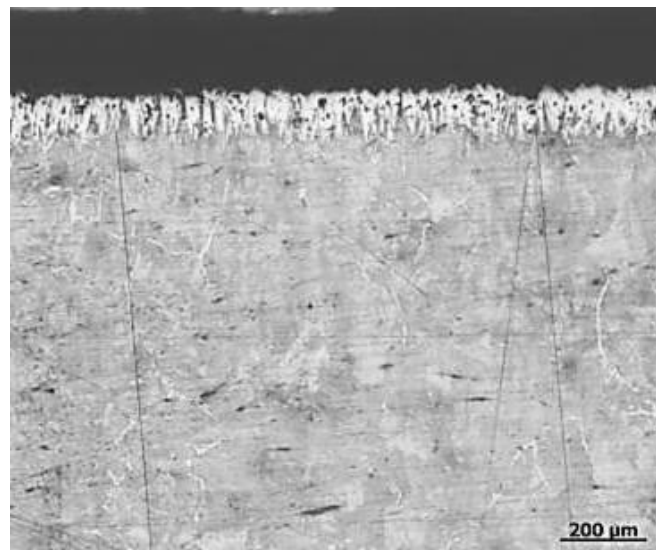
с высокой твердостью и хрупкостью приводит к низкой работоспособности данных покрытий, так как при приложении нормальных и тем более касательных напряжений данные слои скалываются, а их осколки, обладающие высокой твердостью, являются абразивом, значительно увеличивающим износ.

Отсутствие титана в диффузионном слое можно объяснить тем, что титан, обладая более высоким сродством к неметаллическим элементам, чем железо, соединяется с бором на поверхности диффузионного слоя и образует бориды титана, которые при температуре насыщения не диспропорционируют. Данное предположение подтверждается тем, что на дифракционных изображениях поверхности диффузионного покрытия, полученных с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН 6,0 фиксируются только пики титана, бора, углерода и их соединений, пиков других элементов и их соединений на рентгенограммах не обнаружено.

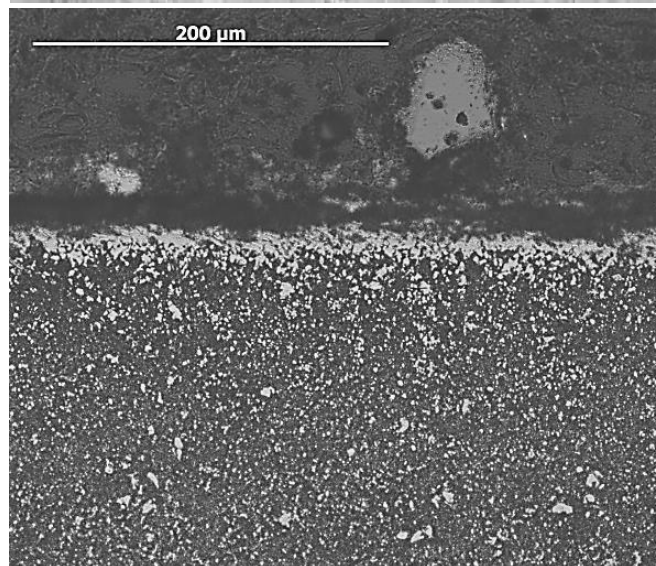
После упрочнения накатные ролики работали в условиях реального износа при накатке поверхностей. Наряду с упрочненными накатками использовали также и неупрочненные накатки из стали 45, подвергнутые закалке и низкому отпуску. Износ контролировали по изменению высоты зуба, за величину полного износа была принята величина убыли высоты зуба на величину более 0,8 мм. При этом, также следует учесть, что режим работы сочетает как компоненту абразивного и адгезионного износа вследствие трения, так и компоненту износа вследствие деформации зуба, так как в процессе работы присутствуют высокие контактные давления, достигающие 200 Н/см^2 . Следует отметить, что накатной инструмент относится к тяжело-нагруженному инструменту, работающему в сложных условиях. График сравнительной стойкости накатных роликов представлен на рисунке 2, за параметр ресурса работы было принято время непрерывной работы накатного ролика до убыли высоты зуба на величину более 0,8 мм, либо такая деформация формы зуба, которая не позволяла получить четкий рельеф накатанной поверхности.

После испытаний на износостойкость была исследована структура накатных роликов, для чего была осуществлена вырезка образцов в радиальном и аксиальном направлениях. Результаты металлографических исследований изношенных накатных роликов, разрезанных в радиальном направлении (по длине накатного зуба) представлены на рисунке 4 и ниже.

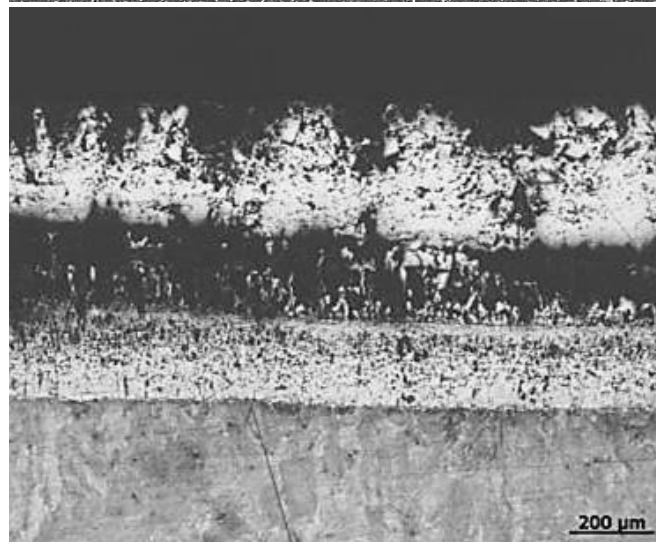
ЗАВИСИМОСТЬ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТАЛЕЙ 45 И Х12М
ОТ МОРФОЛОГИИ ДИФфуЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ



а

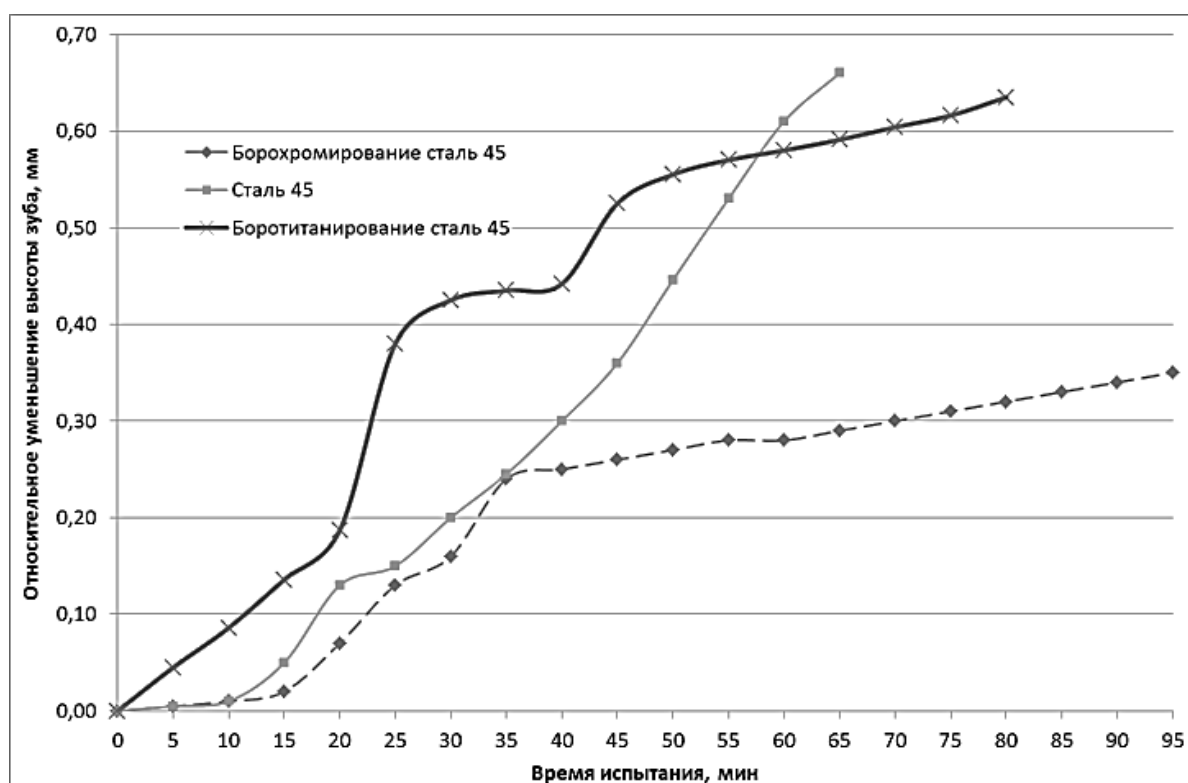


б

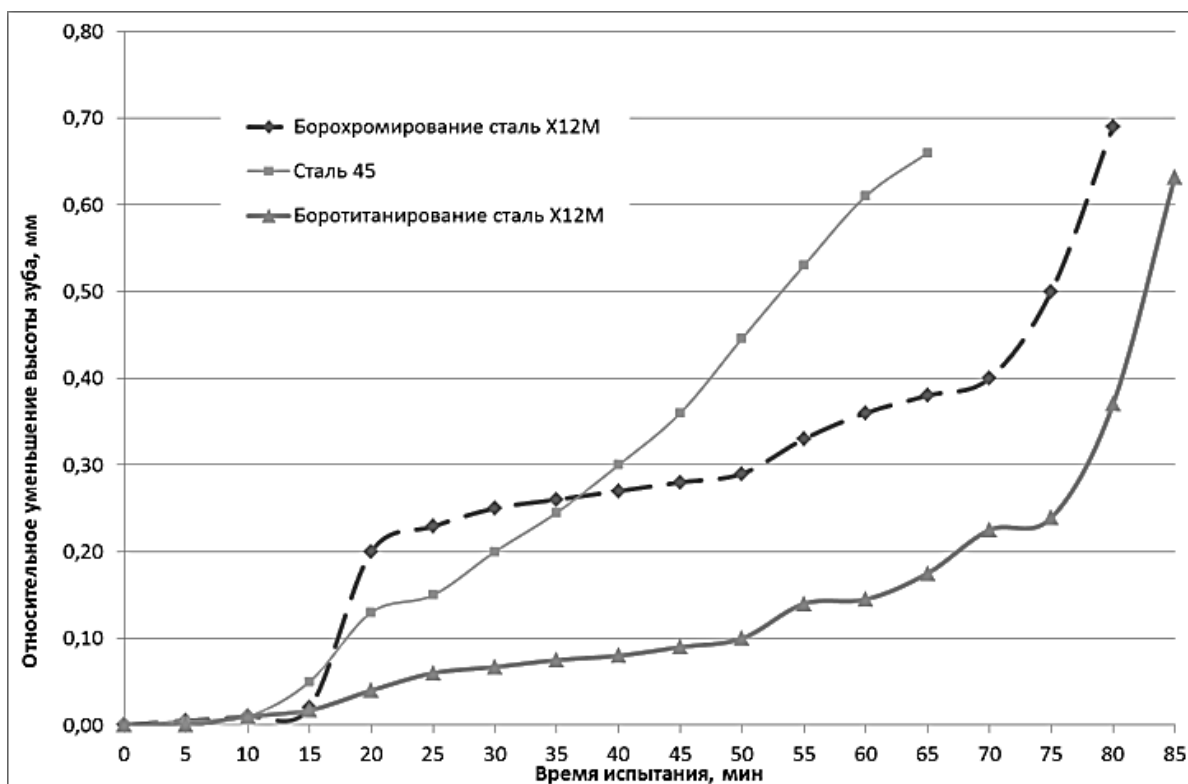


в

Рисунок 1 – Микроструктура покрытия, полученного комплексным насыщением бором, хромом и титаном на сталях: а) борохромированная сталь 45; б) борохромированная сталь Х12М; в) боротитанированная сталь 45



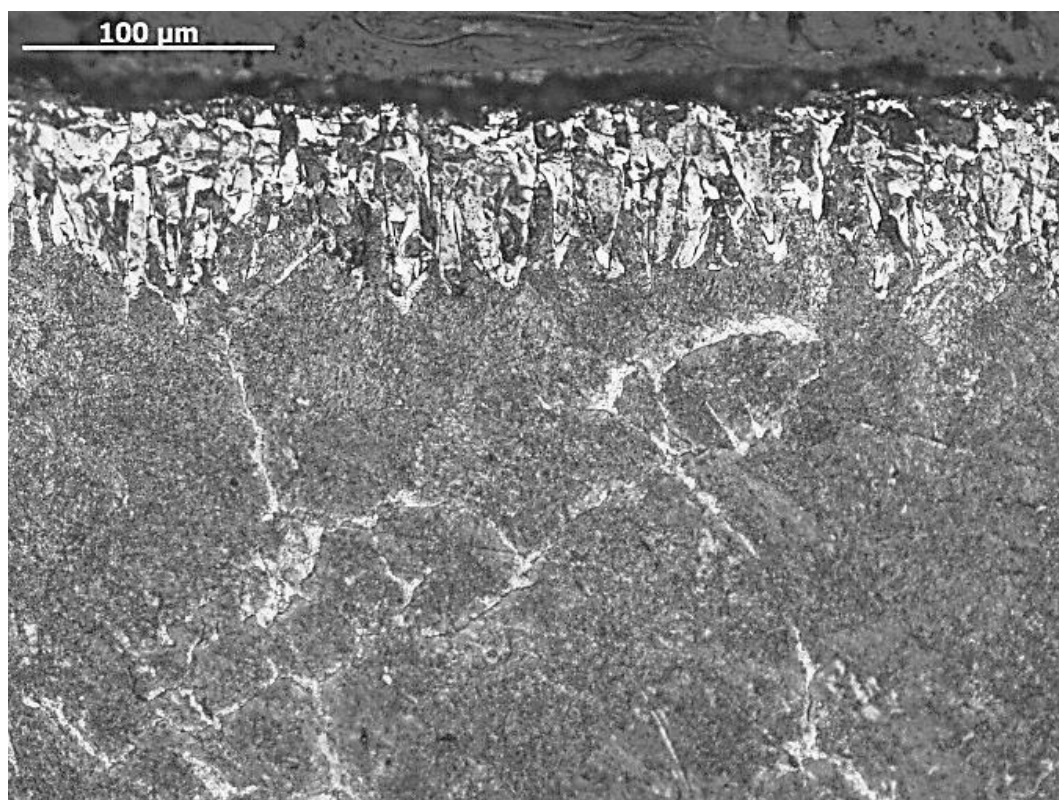
а



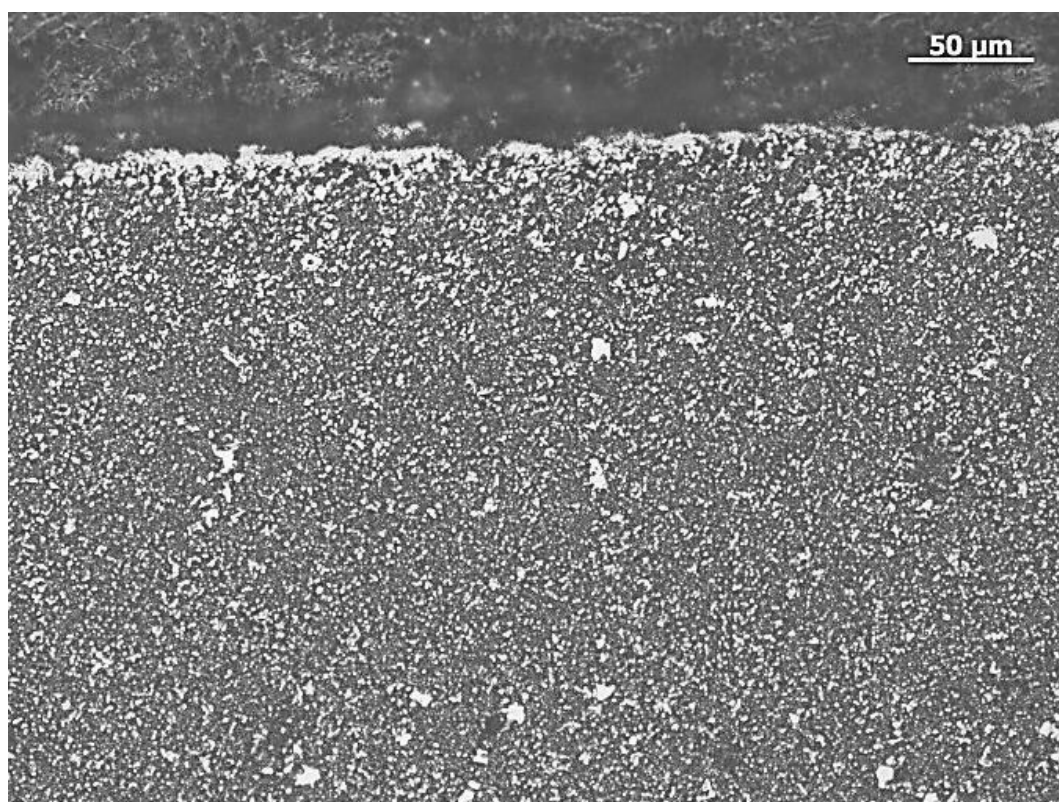
б

Рисунок 2 – Сравнительная износостойкость накатных роликов: а) ролики из стали 45; б) ролики из стали X12M

ЗАВИСИМОСТЬ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТАЛЕЙ 45 И Х12М
ОТ МОРФОЛОГИИ ДИФфуЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ



а



б

Рисунок 3 – Микроструктура боридного слоя на сталях после ХТО и подвергнутых износу:
а) Сталь 45; б) Х12М

Как видно из представленных фотографий микроструктур, характер износа материала в зависимости от типа стали различается в достаточно сильной степени. В случае стали 45 износ имеет преимущественно вид выкрашивания диффузионного слоя вследствие чрезмерных нагрузок, приводящих к деформации материала зуба в случае уменьшения толщины диффузионного слоя, о чем свидетельствуют резкие изменения размера зуба на этапе приработки (временной промежуток 0–15 минут) и после 20 минут работы накатного ролика. В случае накатного ролика из инструментальной стали X12M – износ имел абразивный характер наряду с деформацией материала зуба в результате высоких нагрузок, так как толщина диффузионного слоя на данном классе сталей не превышает 60–80 мкм и, кроме того, оптимальная температура закалки для этой стали находится в интервале 1000–1050 °С, что может быть сопряжено с образованием легкоплавкой боридной эвтектики, плавящейся приблизительно в этом же интервале температур (1070–1150 °С) и при незначительном повышении температуры насыщения выше 1050 °С вследствие естественных флуктуаций температурного поля по объему печи вследствие конвекции и неравномерности теплового излучения от стенок и пода печи может привести к браку. При закалке с выбранной температуры насыщения 950 °С в стали X12M возможно сохранение достаточно высокого (до 12–15 % масс.) количества остаточного аустенита обладающего пониженными прочностными характеристиками, кроме того, пониженная температура приводит к неполному растворению карбидов хрома, их коагуляции, и как следствие – обеднению железной матрицы легирующими элементами.

Наиболее высокую износостойкость показали накатные ролики из углеродистой конструкционной стали 45, подвергнутой одновременному диффузионному борохромированию, закалке с температуры борохромирования и последующему низкому отпуску. Износостойкость борохромированных накатных роликов из стали 45 в 7 раз превысила износостойкость аналогичных промышленных изделий и в 8,6 раза – износостойкость накатных роликов из стали X12M, подвергнутых закалке и низкому отпуску. Это показывает на целесообразность замены высоколегированной стали X12M на углеродистую сталь 45 с диффузионным борохромированием. В этом случае возможно получение дополнительного экономического эффекта вследствие умень-

шения себестоимости изготовления накатных роликов и экономии материальных и энергоресурсов в результате более простых режимов механической, термической и химико-термической обработки.

При изготовлении тяжелонагруженных деталей машин и инструмента из высоколегированной стали X12M, с целью повышения их стойкости, можно рекомендовать химико-термическую обработку (борохромирование) в режиме циклически меняющейся температуры нагрева-охлаждения вблизи температуры фазового $\alpha \leftrightarrow \gamma$ превращения. Это способствует интенсификации диффузионных процессов при химико-термической обработке, приводит к растворению мелких карбидов и более равномерному распределению оставшихся в матрице.

Работа выполнена при поддержке РФФИ проект №13-08-98107 «Исследование механизма диффузионных процессов при формировании на поверхности железоуглеродистых сплавов комплексных диффузионных покрытий на основе бора, хрома и титана».

Список литературы

1. Гурьев, А. М. Физические основы химико-термоциклической обработки сталей [Текст] / А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, Н. А. Попова, Э. В. Козлов. – Барнаул, 2008. – 250 с.
2. Гурьев, А. М. Структура и свойства упрочненных бором и бором совместно с титаном поверхности штамповых сталей 5XНВ и 5X2НМВФ [Текст] / А. М. Гурьев, С. Г. Иванов, М. А. Гурьев, А. Г. Иванов, Б. Д. Лыгденов, С. А. Земляков, А. А. Долгоров // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2010. – Т. 7. – № 1. – С. 27–31.
3. Гурьев, А. М. Механизм диффузии бора, хрома и титана при одновременном многокомпонентном насыщении поверхности железоуглеродистых сплавов [Текст] / А. М. Гурьев, С. Г. Иванов // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2011. – Т. 8. – № 3. – С. 92–96.
4. Гурьев, А. М. Диффузионное термоциклическое упрочнение поверхности стальных изделий бором, титаном и хромом [Текст] / А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, С. Г. Иванов, О. А. Власова, Е. А. Кошелева, И. А. Гармаева, М. А. Гурьев // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2007. – Т. 4. – № 1. – С. 30–35.
5. Guriev, A. M. Transition zone forming by different diffusion techniques in borating process of ferrite-pearlite steels under the thermocyclic conditions / A. M. Guriev, E. V. Kozlov, B. D. Lygdenov, A. M. Kirienko, E. V. Chernyh // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2004. – Т. 1. – № 2. – С. 54–60.
6. Гурьев, А. М. Многокомпонентное диффу-

ЗАВИСИМОСТЬ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТАЛЕЙ 45 И Х12М ОТ МОРФОЛОГИИ ДИФфуЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

зионное упрочнение поверхности деталей машин и инструмента из смесей на основе карбида бора [Текст] / А. М. Гурьев, А. Д. Грешилов, Е. А. Кошелева, С. Г. Иванов, М. А. Гурьев, А. Г. Иванов, А. А. Долгоров // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – 2010. – № 2. – С. 19–23.

7. Гурьев, А. М. Особенности формирования структуры диффузионного слоя на литой стали при химико-термической обработке [Текст] / А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, Д. М. Махаров, В. И. Мосоров, Е. В. Черных, О. А. Гурьева, С. Г. Иванов // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2005. – Т. 2. – № 1. – С. 39–41.

8. Гурьев, А. М. Механизм образования боридных игл при диффузионном комплексном борохромии из насыщающих обмазок [Текст] / А. М. Гурьев, С. Г. Иванов, А. Д. Грешилов, С. А. Земляков // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – 2011. – № 3. – С. 34–40.

9. Гурьев, М. А. Технология нанесения многокомпонентных упрочняющих покрытий на стальные детали [Текст] / М. А. Гурьев, Д. С. Фильчаков, И. А. Гармаева, С. Г. Иванов, А. М. Гурьев, Г. А. Околович // Ползуновский вестник. – 2012. – № 1-1. – С. 73–78.

10. Гурьев, А. М. Диффузионные покрытия сталей и сплавов [Текст] / А. М. Гурьев, С. Г. Иванов, И. А. Гармаева. – Барнаул, 2013. – 221 с.

Иванов Сергей Геннадьевич¹ – к.т.н., докторант

Гурьев Михаил Алексеевич¹ – к.т.н.

Гармаева Ирина Анатольевна^{1, 2} – к.т.н.,
доцент, докторант

Власова Ольга Алексеевна¹ – к.т.н.

Иванова Татьяна Геннадьевна – аспирант

Бильтриков Николай Георгиевич^{1, 2} – аспирант

Кошелева Елена Алексеевна¹ – к.т.н., доцент

Гурьев Алексей Михайлович^{1, 3} – д.т.н.,
профессор, заведующий кафедрой

¹ ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный
технический университет им. И.И. Ползунова»
(АлтГТУ), г. Барнаул, Россия

² ФГБОУ ВПО «Восточно-Сибирский
государственный университет технологий и
управления (ВСГУТУ)», г. Улан-Удэ, Россия

³ Уханьский текстильный университет,
г. Ухань, Китай